

NEC-F90/USA

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re patent application of

K. Yamada et al.

Serial No.: 09/702,831

Filed: November 1, 2000

For: SEMICONDUCTOR DEVICE TESTER

Assistant Commissioner of Patents  
Washington, D.C. 20231



Group Art Unit: 2858

Examiner: Unknown

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Application Number 111-315320 filed on November 5, 1999, 2000-191817 filed on June 26, 2000 and 2000-311196 filed on October 11, 2000 upon which application the claim for priority is based.

Respectfully submitted,

C. Lamont Whitham  
Reg. No. 22,424

McGuireWoods LLP  
1750 Tysons Boulevard, Suite 1800  
McLean, VA 22102  
(703)712-5000

**AVAILABLE COPY**

*Priority paper  
#5  
P. Walker*

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

FEB 12 2001

PATENT & TRADE MARK OFFICE

1999年11月 5日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第315320号

出 願 人

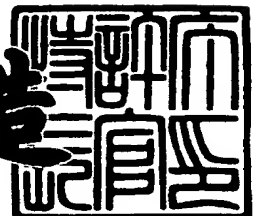
Applicant (s):

日本電気株式会社

2000年 8月18日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3066252

【書類名】 特許願

【整理番号】 34700683

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 15/00  
H01J 37/28  
H01L 21/66

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 山田 恵三

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 辻出 徹

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082935

【弁理士】

【氏名又は名称】 京本 直樹

【電話番号】 03-3454-1111

【選任した代理人】

【識別番号】 100082924

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 修一

【電話番号】 03-3454-1111

【選任した代理人】

【識別番号】 100085268

【弁理士】

【氏名又は名称】 河合 信明

【電話番号】 03-3454-1111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008279

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9115699

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体デバイス検査装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電子ビームを放出する電子銃と電子銃から放出された電子ビームを平行にするためのコンデンサレンズを備え、かつ、試料に当る電子ビームのスポットサイズを制限する為にコンデンサレンズと試料の間に電子ビームに開口部が当るように直角に挿入されたアパーチャーを有し、かつ試料を平行あるいは回転移動する為のステージを有し、試料に接触あるいは隣接して配置される電極を有し、電極に集められた電子が生じる電流を測定する電流計を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 2】 電子ビームを放出する電子銃と電子銃から放出された電子ビームを平行にするための第 1 のコンデンサレンズを有し、アフォーカル系を為すように配置された第 2 のコンデンサレンズと対物レンズを有し、かつ、電子ビームスポットサイズを制限するアパチャーを第 1 コンデンサレンズと第 2 のコンデンサレンズの間有し、かつ試料を平行あるいは回転移動する為のステージを有し、試料に接触あるいは隣接して配置される電極を有し、電極に集められた電子が生じる電流を測定する電流計を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 3】 測定領域面積よりも小さなスポットサイズを有する電子ビームを、測定領域の中心を通る線分に沿って試料に垂直に照射する手段と試料に垂直に電子ビームを照射した時に生じる電流値を線分の位置座標に対応して測定する手段と測定された電流の立ち上がり立ち下がり間隔から測定領域の底部距離を求める手段を有することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 4】 測定領域の面積が予め既知である標準試料に対して一定条件の電子ビームを照射した際に流れる電流値の値で一定条件の電子ビームを未知の測定領域に対して照射した際に流れる電流値を割り算する手段を有し、その値から未知の測定領域面積を算出することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 5】 得られた面積を円周率で割り算する手段とその答えの平方根を取る手段を有し、その答えを未知領域の端から端までの距離として出力することを特徴とする請求項 4 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 6】 測定領域を全て同時に含むスポットサイズを有する電子ビームを試料に照射する手段および電子ビーム照射時に発生する電流を測定する手段を有し、かつ、測定領域の面積が既知である標準試料に上記条件の電子ビームを照射した際に発生する電流値と未知試料の測定領域に上記条件の電子ビームを照射した際に生じる電流値との大きさの割合を算出する手段を有しその割合から未知試料測定領域の面積を算出する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 7】 スポットサイズの既知である電子ビームを標準試料に照射する手段とその時に生じる電流値を測定する手段を有し、その電流値を標準試料単位面積当たりの電流量とすることを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 8】 電子ビームが照射される測定対象ウェハーの位置座標に対応して電流を測定する手段と、良品がその位置座標にて示すべき電流値とを比較する手段を有し、比較結果にもとずいて次に行うプロセスの種類を設定する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 9】 試料表面から放出される二次電子を検出する二次電子検出器を備え、かつ、電流が測定された位置座標に対応付けて二次電子量を測定する手段を有した事を特徴とする請求項 1 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 0】 試料表面から放出される二次電子を検出する二次電子検出器を備え、かつ、電流が測定された位置座標に対応付けて二次電子量を測定する手段を有した事を特徴とする請求項 2 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 1】 二次電子量の立ち上がりと立ち下がりの間隔から測定領域の上部距離を求める手段を有することを特徴とする請求項 3 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 2】 測定された測定領域の底部距離、上部距離および膜厚み情報から、底部距離、上部距離、および膜厚みをそれぞれ底部直径、上部直径、高さとする円柱あるいは円錐をディスプレイ上に 3 次元表示する手段を有している事を特徴とする請求項 1 1 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 3】 試料ステージを傾斜させる手段および傾斜角度を測定する手段を有した事を特徴とする請求項 1、2 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 4】 試料にごみの無い場所で得られる電子ビーム照射位置に対応した

電流値を記憶する手段と、未知試料の同一パターン部における電子ビーム照射位置に対応した電流値を比較する手段を有し、電流値の立ち上がり下がり位置の差からごみの有無および大きさを決定する手段を有した事を特徴とする請求項 1 および 2 の半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 5】 測定領域を含む事が出来るスポットサイズを有する電子ビームであり、かつその断面形状が少なくとも 1 つの直線部分からなるエッジを有している電子ビームを照射する手段と、電子ビームエッジ位置に対応して試料に流れる電流値を測定する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 6】 電流値の立ち上がりから最大値までの距離を算出する手段を有し、その距離を測定領域底距離として出力する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 7】 電流値の距離に対する微分曲線を計算する手段を有し、かつ微分曲線の立ち上がりから頂点を示す位置までの距離を計算する手段を有しその距離を測定領域底距離として出力する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 8】 複数の距離測定手段を有し、ウエハー上の第 1 の部分を第 1 の測定手段を適用する領域として選択する手段を有し、ウエハー上の第 1 の部分を含む第 2 の部分を第 2 の測定手段を適用する領域として選択する手段を有し、かつ、第 1 の測定手段によって得られた測定値を第二の測定手段を実行する為の基準値として記憶する手段を有することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【請求項 1 9】 測定された電流値を測定位置に対応したマップ上に表示する事を特徴とする半導体デバイス検査装置

【請求項 2 0】 電子ビーム照射に伴って検査試料に生じる電流を用いてデバイスの良否検査を行う装置において、第 1 の被検査試料に対して、配線幅とほぼ同じ長さの線状電子ビームを線の長手方向に対して直角方向に走査しながら試料に照射する手段、および 1 ラインの走査が終了するたびに走査位置を配線幅の長さだけ走査方向とは垂直の方向に移動する手段、電子ビームが照射された際に第 1 の試料に生じる第 1 の電流波形を第 1 の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第 1 の記憶手段を備え、かつ第 1 と同じパターンを有する第 2 の被検査試料に

対して、配線幅とほぼ同じ長さの線状電子ビームを線の長手方向に対して直角方向に走査しながら試料に照射する手段、および1ラインの走査が終了するたびに走査位置を配線幅の長さだけ走査方向とは垂直の方向に移動する手段、電子ビームが照射された際に第2の試料に生じる第2の電流波形を第2の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第2の記憶手段を備え、かつ、記憶された同じパターン位置に対応する第1と第2の電流波形をお互いに比較する手段を有し、両者の比較結果にある一定以上の差がある場合に、少なくとも第1、第2どちらかの位置座標を抽出する手段を有する事を特徴とするデバイス検査装置。

【請求項21】 電子ビーム照射に伴って検査試料に生じる電流を用いてデバイスの良否検査を行う装置において、第1の被検査試料に対して、配線の最小配線幅よりも小さなサイズの電子ビームを照射する手段、その電子ビームを第1の方向に走査する手段、および1ラインの走査が終了するたびに走査位置を配線幅の長さだけ走査方向とは垂直の方向に移動する手段、電子ビームが照射された際に第1の試料に生じる第1の電流波形を第1の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第1の記憶手段を備え、かつ第1と同じパターンを有する第2の被検査試料に対して、配線の最小配線幅よりも小さなサイズの電子ビームを照射する手段、その電子ビームを第1の方向に走査する手段、および1ラインの走査が終了するたびに走査位置を最小配線幅の長さだけ走査方向とは垂直の方向に移動する手段、電子ビームが照射された際に試料に生じる第2の電流波形を第2の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第2の記憶手段を備え、かつ、記憶された同じパターン位置に対応する第1と第2の電流波形の立ち上がりと立ち下がりの中心に位置する瞬時電流量を抽出する手段およびその瞬時電流量をお互いに比較する手段を有し、両者の比較結果にある一定以上の差がある場合に、少なくとも第1、第2どちらかの位置座標を抽出する手段を有する事を特徴とするデバイス検査装置。

【請求項22】 電子ビーム照射に伴って検査試料に生じる電流を用いてデバイスの良否検査を行う装置において、第1の被検査試料に設けられた複数の配線に同時に少なくとも1本の線状電子ビームを線の長手方向とは直角方向に走査しながら照射する手段、および1ラインの走査が終了するたびに、走査位置を照射し



ている電子ビームの幅だけ走査方向に垂直の方向に移動する手段、電子ビームが照射された際に第 1 の試料に生じる第 1 の電流波形を第 1 の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第 1 の記憶手段を備え、かつ第 1 と同じパターンを有する第 2 の被検査試料に設けられた複数の配線に同時に少なくとも 1 本の線状電子ビームを線の長手方向とは直角方向に走査しながら照射する手段、および 1 ラインの走査が終了するたびに、走査位置を照射している電子ビームの幅だけ走査方向に垂直の方向に移動する手段と電子ビームが照射された際に第 2 の試料に生じる第 2 の電流波形を第 2 の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第 2 の記憶手段を備え、かつ、記憶された同じパターン位置に対応する第 1 と第 2 の電流波形をお互いに比較する手段を有し、両者の比較結果にある一定以上の差がある場合に、少なくとも第 1、第 2 どちらかの位置座標を抽出する手段を有する事を特徴とするデバイス検査装置。

【請求項 2 3】 電子ビーム照射に伴って検査試料に生じる電流を用いてデバイスの良否検査を行う装置において、第 1 の被検査試料に設けられた複数の配線に同時に少なくとも 1 本の線状電子ビームを線の長手方向とは直角方向に走査しながら照射する手段、および 1 ラインの走査が終了するたびに、走査位置を照射している電子ビームの幅だけ走査方向に垂直の方向に移動する手段、電子ビームが照射された際に第 1 の試料に生じる第 1 の電流波形を第 1 の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第 1 の記憶手段を備え、かつ第 1 と同じパターンを有する第 2 の被検査試料に設けられた複数の配線に同時に少なくとも 1 本の線状電子ビームを線の長手方向とは直角方向に走査しながら照射する手段、および 1 ラインの走査が終了するたびに、走査位置を照射している電子ビームの幅だけ走査方向に垂直の方向に移動する手段と電子ビームが照射された際に第 2 の試料に生じる第 2 の電流波形を第 2 の電子ビーム照射位置と対応付けて記憶する第 2 の記憶手段を備え、かつ、記憶された同じパターン位置に対応する第 1 と第 2 の電流波形を積分して両者を比較する手段を有し、両者の比較結果にある一定以上の差がある場合に、少なくとも第 1、第 2 どちらかの位置座標を抽出する手段を有する事を特徴とするデバイス検査装置。

【請求項 2 4】 第 1 の電流波形に属する 1 つのパルスの立ち上がりから立ち下

がりまでに流れた電流を積分する第 1 の積分手段と、その積分結果をそのパルス幅で割る第 1 の割り算手段、および、その割り算結果を第 1 の割り算結果として記憶する第 1 の記憶装置を有し、かつ、第 1 の割り算結果を第 1 の基準値で割り算する第 2 の割り算器、および、その割り算結果を第 2 の割り算結果として記憶する第 2 の記憶装置を有し、第 2 の割り算結果を第 2 の基準値と比較する手段を有し、第 2 の基準値との差に応じて配線の良否判定することを特徴とする請求項 2 0 乃至 2 3 のいずれか一項に記載のデバイス検査装置。

【請求項 2 5】 第 1 の電流波形に属する 1 つのパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れた電流を積分する第 1 の積分手段と、その積分結果をそのパルス幅で割る第 1 の割り算手段、および、割り算結果を第 1 の割り算結果として記憶する第 1 の記憶装置を有し、かつ、第 2 の電流波形に属する 1 つのパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れた電流を積分する第 2 の積分手段と、その積分結果をそのパルス幅で割る第 2 の割り算手段、その割り算結果を第 2 の割り算結果として記憶する第 2 の記憶装置を有し、第 1 の割り算結果を第 2 の割り算結果で割り算する第 3 の割り算器を備え、かつその割り算結果を第 3 の割り算結果として記憶する第 3 の記憶装置を有し、第 3 の割り算結果と基準値とを比較する手段を有し、基準値との差に応じて配線の良否判定することを特徴とする請求項 1、2 のデバイス検査装置。

【請求項 2 6】 第 1 の電流波形に属する 1 つのパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れた電流を積分する第 1 の積分手段と、その積分結果をそのパルス幅で割る第 1 の割り算手段、割り算結果を第 1 の割り算結果として記憶する第 1 の記憶装置を有し、かつ、第 2 の電流波形に属する 1 つのパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れた電流を積分する第 2 の積分手段と、その積分結果をそのパルス幅で割る第 2 の割り算手段、割り算結果を第 2 の割り算結果として記憶する第 2 の記憶装置を有し、第 1 の割り算結果と第 2 の割り算結果の差をとる第 1 の引き算器を備え、かつ引き算結果を第 1 の引き算結果として記憶する第 3 の記憶装置を有し、第 3 の引き算結果と基準値と比較する手段を有し、基準値との差に応じて配線の良否判定することを特徴とする請求項 2 0 又は請求項 2 1 に記載のデバイス検査装置。

【請求項 2 7】 第 1 の電子ビーム走査が検査対象配線幅距離第 1 の方向に進む毎に、第 1 の電子ビーム走査方向に垂直に交わる第 2 の方向に一定量の第 2 の電子ビーム走査を行う手段を有し、かつ、第 2 の電子ビーム走査が終了後、再び第 1 の電子ビーム走査を第 1 の方向に行い、さらに、配線幅距離第 1 の電子ビーム走査が進む毎に第 2 の方向とは逆の方向である第 3 の方向に、第 2 の電子ビーム走査を行う手段を有している事を、特徴とする請求項 2 0 又は請求項 2 1 に記載のデバイス検査装置。

【請求項 2 8】 電子ビーム照射位置の関数として取得された、第 1 の電流波形を一定の位置区間毎に空間周波数分析する手段を有し、同じ空間周波数成分を持つ電流波形取得位置区間を自動的にグループ分けする手段を有する事を特徴とする請求項 2 0 乃至 2 3 のいずれか一項に記載のデバイス検査装置。

【請求項 2 9】 複数のデバイス検査モードを備え、同じ空間周波数毎にグループ分けされた位置区間が基準値以上の距離を持つ場合に、その領域を検査する方法として別の検査モードを自動選択適用する事を特徴とする請求項 2 8 記載のデバイス検査装置。

【請求項 3 0】 第 1 の電流波形に属するパルスの立ち上がりおよび立ち下がり位置座標の中心座標を算出して第 1 の配線中心位置を特定する手段を有し、第 2 の電流波形に属するパルスの立ち上がりおよび立ち下がり位置座標の中心座標を算出して第 2 の配線中心位置を特定する手段を有し、かつ、第 1 の配線中心位置座標と第 2 の配線中心位置座標の相対位置座標を比較する手段を有し、両者の比較結果に一定以上の差がある場合に少なくとも第 1 あるいは第 2 の配線中心位置を記憶する事を特徴とするデバイス検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電子ビームを用いた半導体デバイス検査法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

メモリー等の半導体装置には、下部の能動素子と上部の配線層との間を結ぶコ

ンタクトホールあるいはバイアホールが形成されている。

【0003】

コンタクトホールは酸化膜などの絶縁膜を反応性イオンエッチングによって掘り、表面から下地基板まで届く貫通穴としたものである。エッチングの条件を最適化するためには、コンタクトホールの外観形状やコンタクトホール内部の形状あるいはコンタクトホール底の状態を検出する事が必要とされている。

【0004】

コンタクトホール径はミクロンオーダー以下の大きさなので可視光はコンタクトホール底まで入射する事が出来ず、光学的手法でその良否を検出する事は困難である。現在は、微細構造の解析に向けた走査型の電子顕微鏡が主に検査装置として利用されている。

【0005】

図18、図19は従来の走査型電子顕微鏡を用いて円柱状のコンタクトホールおよびテーパ状のコンタクトホールを検出した例を示している。

【0006】

電子顕微鏡は数十KeVに加速され、かつ数nmに絞られた電子ビームをコンタクトホール領域に当て、当てられた領域に生じる二次電子を二次電子検出装置によって、検出し画像を形成する。

【0007】

電子ビームを照射された試料は構成原子に応じた量の二次電子を発生するが、一般にSEM（走査型電子顕微鏡）に配置される二次電子検出器は特定の方向に配置されており、全ての二次電子を検出しないので、試料に凹凸があると同じ材料でも二次電子が検出される場合とそうで無い場合が生じコントラストが生じる。このことが、同一物質からなる検査対象がコントラストを生じる理由でありかつ、SEM（走査型電子顕微鏡）の特徴となっている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

コンタクトホールあるいはスルーホールでは、電氣的コンタクトがコンタクトホール底で取られる事から、コンタクトホール開口部の形状はもとより、コンタ

クトホール底の形状およびその表面状態が大変重要である。

【 0 0 0 9 】

近年の高密度化、多層化によってアスペクト比率が 1 0 を超えるようなコンタクトホールやを形成するエッチングでは、プロセス条件によっては、同一開口部直径を持つ場合でも、内部の直径が異なる場合がある。このようなコンタクトホール内部寸法のバラツキはデバイスの特性に大きな影響を与えるため、コンタクトホール全体が同じ寸法になるようにプロセス担当者はプロセスを制御する必要がある。

【 0 0 1 0 】

また、これらバラツキは、実際の製品で起る事があってはいけないので、製品を検査対象とすることが必要でこの両者を非破壊で検出できる技術が大変重要である。

【 0 0 1 1 】

図 1 8 は、開口部から垂直にエッチングが行われており開口部とほぼ同一の直径を持つ円柱状の構造のコンタクトホールを示している。一方、図 1 9 は、穴の奥にいくほど直径が小さくなっており、開口径とは異なった直径を持つテーパ状コンタクトホールを示している。

【 0 0 1 2 】

図 1 9 に示したテーパ状コンタクトホールは開口部は良好であるが、底に行くに連れて先が細っており、設計目標とは異なった穴径を有しているためコンタクト抵抗が増大し不良となる。

【 0 0 1 3 】

しかし、現在使用されている、注入された電子ビームの内、基板表面から戻ってくる二次電子のみを利用して画像形成を行う走査型電子顕微鏡（以下、SEM と略す。）観察では、どちらのコンタクトホール形状の場合にも、得られる検出像は開口部のところで急速に像が暗くなり、底の情報は反映されないため同じ像となる。つまり、このような場合、通常の SEM では両者を区別する事が出来ないと言う課題があった。

【 0 0 1 4 】

現在は、以上の理由で表面からのみのSEM観察では両者を区別できないので、試料のコンタクトホールを中心部分を縦に切断して断面を観察する方法が採用されている。

【0015】

この方法は、コンタクトホール中心で正確に真っ二つに割る等高等な技術が必要で、現在のコンタクトホール径が数千Åのオーダーであることを考慮すると、コンタクトホール中心部を良品判定に必要な1割の精度で割る事は事実上不可能である。また、破壊観察であり製品が直接見られない上に大変な手間と時間が生じるという課題がある。

【0016】

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたもので、非破壊でコンタクトホールの立体形状を再現できる方法を提供する事を目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するための本発明は、以下の構成を採用した。

【0018】

電子ビームを放出する電子銃と電子銃から放出された電子ビームを平行にするためのコンデンサレンズを備え、かつ、試料に当る電子ビームのスポットサイズを制限する為にコンデンサレンズと試料の間に、電子ビームに開口部が当るように直角に挿入されたアパーチャーを有し、かつ試料を平行あるいは回転移動する為のステージを有し、試料に接触あるいは隣接して配置される電極を有し、電極に集められた電子が生じる電流を測定する電流計を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【0019】

電子ビームを放出する電子銃と電子銃から放出された電子ビームを平行にするための第1のコンデンサレンズを有し、アフォーカル系を為すように配置された第2のコンデンサレンズと対物レンズを有し、かつ、電子ビームスポットサイズを制限するアパーチャーを第1コンデンサレンズと第2のコンデンサレンズの間に有し、かつ試料を平行あるいは回転移動する為のステージを有し、試料に接触あ

るいは隣接して配置される電極を有し、電極に集められた電子が生じる電流を測定する電流計を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 0 】

測定領域面積よりも小さなスポットサイズを有する電子ビームを測定領域の中心を通る線分に沿って試料に垂直に照射する手段と試料に垂直に電子ビームを照射した時に生じる電流値を線分の位置座標に対応して測定する手段と測定された電流の立ち上がりと立ち下がりの間隔から測定領域の底部距離を求める手段を有することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 1 】

測定領域の面積が予め既知である標準試料に対して一定条件の電子ビームを照射した際に流れる電流値の値で一定条件の電子ビームを未知の測定領域に対して照射した際に流れる電流値を割り算する手段を有し、その値から未知の測定領域面積を算出することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 2 】

得られた面積を円周率で割り算する手段とその答えの平方根を取る手段を有し、その答えを未知領域の端から端までの距離として出力することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 3 】

測定領域を全て同時に含むスポットサイズを有する電子ビームを試料に照射する手段および電子ビーム照射時に発生する電流を測定する手段を有し、かつ、測定領域の面積が既知である標準試料に上記条件の電子ビームを照射した際に発生する電流値と未知試料の測定領域に上記条件の電子ビームを照射した際に生じる電流値との大きさの割合を算出する手段を有しその割合から未知試料測定領域の面積を算出する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 4 】

スポットサイズの既知である電子ビームを標準試料に照射する手段とその時に生じる電流値を測定する手段を有し、その電流値を標準試料単位面積当たりの電流量とすることを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 5 】

電子ビームが照射される測定対象ウエハーの位置座標に対応して電流を測定する手段と、良品がその位置座標にて示すべき電流値とを比較する手段を有し、比較結果にもとずいて次に行うプロセスの種類を設定する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 6 】

試料表面から放出される二次電子を検出する二次電子検出器を備え、かつ、電流が測定された位置座標に対応付けて二次電子量を測定する手段を有した事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 7 】

試料表面から放出される二次電子を検出する二次電子検出器を備え、かつ、電流が測定された位置座標に対応付けて二次電子量を測定する手段を有した事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 8 】

二次電子量の立ち上がりと立ち下がりの間隔から測定領域の上部距離を求める手段を有することを特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 2 9 】

測定された測定領域の底部距離、上部距離および膜厚み情報から、底部距離、上部距離、および膜厚みをそれぞれ底部直径、上部直径、高さとする円柱あるいは円錐をディスプレイ上に 3 次元表示する手段を有している事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 3 0 】

試料ステージを傾斜させる手段および傾斜角度を測定する手段を有した事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 3 1 】

ごみの無い時に得られる電子ビーム照射位置に対応した電流値を記憶する手段と、未知試料の同一パターン部における電子ビーム照射位置に対応した電流値を比較する手段を有し、電流値の立ち上がり下がりの差からごみの有無および大きさを決定する手段を有した事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【 0 0 3 2 】



測定領域を含む事が出来るスポットサイズを有する電子ビームであり、かつその断面形状が少なくとも1つの直線部分からなるエッジを有している電子ビームを照射する手段と、電子ビームエッジ位置に対応して試料に流れる電流値を測定する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【0033】

電流値の立ち上がりから最大値までの距離を算出する手段を有し、その距離を測定領域底距離として出力する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【0034】

電流値の距離に対する微分曲線を計算する手段を有し、かつ微分曲線の立ち上がりから頂点を示す位置までの距離を測定する手段を有しその距離を測定領域底距離として出力する手段を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【0035】

複数の距離測定手段を有し、ウエハー上の第1の部分を第1の測定手段を適用する領域として選択する手段を有し、ウエハー上の第1の部分を含む第2の部分を第2の測定手段を適用する領域として選択する手段を有し、かつ、第1の測定手段によって得られた測定値を第二の測定手段を実行する為の基準値として記憶する手段を有することを特徴とする半導体デバイス検査装置である。

【0036】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。尚、図において、同等の要素に対しては同符号を付してその説明を省略する。

【0037】

図1は本発明を実施するために必要とされる電子ビームを発生する装置を示している。

【0038】

電子銃1から飛び出した電子ビーム3はコンデンサレンズ2により一旦平行電子ビームに変換される。

【0039】

平行ビームは非常に小さな穴を設けられたアパチャー 4 に照射される。アパチャーは金属等で出来ており、アパチャーに照射された電子ビームがアパチャーに蓄積しないようにアース 6 されている。

【 0 0 4 0 】

アパチャーを通過した電子ビームはアパチャーが規定しているのとほぼ同じ大きさの非常に細いビームとなり、試料 5 に照射される。

【 0 0 4 1 】

加熱によってアパチャー径が変化するのを防止するためにアパチャーを冷却する事もある。アパチャーは図 3 に示したように、ほぼ中心部に開口部 3 1 を有しその周辺は遮蔽部 3 2 となっている。

【 0 0 4 2 】

遮蔽部 3 2 の材質としては電子ビームが当てられて時に、ガスを発生しにくい材料であるタングステンやモリブデン、シリコン、ポリシリコン、金、パラジウム、チタン等が用いられる。

【 0 0 4 3 】

アパチャー径はコンタクトホール内部を走査して距離を求める場合には数百 Å から 1 0 0 0 Å、1 つのコンタクトホールを一度に電子ビーム照射する場合には、数ミクロンの大きさの物を用いる。アパチャーの形状は正方形ばかりでなく、長方形や円形あるいは其の外の多角形が用いられる。

【 0 0 4 4 】

電子ビームはアパチャーの開口部よりも断面積が広いビームを用いても、開口部よりも断面積が狭いビームを用いても問題は生じない。

【 0 0 4 5 】

電子ビームの断面積がアパチャーの開孔部の面積よりも狭い場合は、アパチャー開口部を走査することで断面積が開口部よりも広いビームで照射したときと同様の結果を得ることができる。

【 0 0 4 6 】

試料 5 は干渉計などの原理によるオングストロームオーダーの精密移動距離測定装置 8 を備えた可動ステージ 6 の上に設けられた電流収集用の電極 7 の上に載

せられている。

【0047】

ウェハーと電極は直流的に接触が取れるように接触配置してもよいし、ウェハーに照射する電子ビームが高周波数で変調されている場合には、電極はウェハーに対して隣接するだけで、交流結合が生じるため電流が測定できる。

【0048】

一般的に半導体の製造工程に於いて、基板裏面は素子分離のための局所酸化膜を形成することがおおいのでウェハー裏面に絶縁膜が形成されていることが多い。このために、ステージ6とウェハーとの接触を図るために容量結合ステージを用いることも効果的である。

【0049】

接続はウェハーの側面を利用することも可能である。

【0050】

測定するコンタクトホールの寸法が微細であるので、基板が平坦にステージ6上に載置されていることが必要である。

【0051】

このためには基板の外周を例えばリング状の治具で押さえ込むことも有効である。

【0052】

電極で集められた電流は電流計9によって測定される。測定結果はデジタル信号に変換されコンピュータ等情報処理装置へと出力される。

【0053】

ここでは雑音に対する耐性をあげるために作動アンプ構成をとることも有効である。

【0054】

図2は特にミクロンオーダー以下の細いビームを必要とするときに利用する電子ビーム発生装置を示している。この電子ビーム発生装置は第二コンデンサレンズ23と対物レンズ25でアフォーカル系を形成しており、入射平行ビームの径をアパーチャー27で制限された幅よりも小さな平行ビームに変換する電子光学

系となっている。

【 0 0 5 5 】

電子銃 2 1 から放出された電子ビーム 2 4 は、一旦、第一コンデンサレンズ 2 2 により平行ビームに変換されたのちアパチャー 2 7 を通過し細い平行ビームに変換される。

【 0 0 5 6 】

次いで第 2 コンデンサレンズ 2 3 によりビームは絞られ対物レンズ 2 5 に入射される。この電子ビーム発生装置では試料 2 6 に照射される最終ビームの成形にアパチャーを利用しないので、直接微細加工では実現し難い 1 0 0 Å オーダーの非常に細いビームを容易に実現できる。本発明はこれらの電子ビーム源を用いて実施される。

【 0 0 5 7 】

これら細いビームは広い面積を走査する事によって太いビームを一括照射した場合と同様な効果を得る事が出来るのは言うまでもない。

【 0 0 5 8 】

コンタクトホール 4 2 はシリコン基板 4 4 等、支持基板上に設けられた酸化膜 4 3 あるいは誘電体表面から、支持基板まで貫通する穴である。良好なコンタクトホールでは、支持基板表面 4 6 あるいは下地となる配線層表面が剥き出しの状態となっている。

【 0 0 5 9 】

コンタクトホールはレジストによってホール状に開口された酸化膜部分に、フッ素含有ガスをエッチャントとする反応性イオンエッチングを適用することによって形成される。

【 0 0 6 0 】

現在主に利用されているコンタクトホールは、コンタクトホール壁を構成する酸化膜厚み数ミクロンに対して、穴径 0. 1 5 ミクロンと、アスペクトレシオ 1 0 を超える大変細長い構造をしている。反応性イオンエッチングは物理化学エッチングである。

【 0 0 6 1 】

エッチングの実質速度は、基板表面に対して垂直に高速照射されるフッ素含有ガスのイオンが酸化膜をエッチングする速度とそのエッチング反応によって生じるフルオロカーボン高分子膜の生成速度のから決定される。

【 0 0 6 2 】

一般に、高速にフッ素含有ガスのイオンが照射されるコンタクトホール内部は酸化膜がエッチングされる反応が進行し、エッチング反応によって形成されるコンタクトホール側壁には、フルオロカーボン高分子膜が堆積する。

【 0 0 6 3 】

この機構によって側壁がエッチングから守られるので、大変深い縦穴が形成可能となる。

【 0 0 6 4 】

一方、エッチングが進行してコンタクトホールが下地の基板に到達すると基板には酸素が無い事からエッチング反応が酸化膜エッチング反応から高分子膜生成主体の反応に変化し、自動的にエッチングが下地基板の中に進行するのを防止する。

【 0 0 6 5 】

しかし、これらの反応バランスは微妙なため、製造装置の微妙な条件の変化によっては突然エッチングが下地に到達する前に停止してしまったり、下地をエッチングしてしまう事が起る。それらは、不良のコンタクトホールあるいはスルーホールを作るので、それらの不具合を検出する必要がある。

【 0 0 6 6 】

本実施例は、細く絞られた平行電子ビームを利用してコンタクトホールの底径を測定するための技術を開示している。

【 0 0 6 7 】

本願発明の第 1 の実施例を図面を用いて説明する。

【 0 0 6 8 】

図 1 あるいは図 2 に示した方法によって得られた 1 0 0 Å 程度のビーム径の電子ビームを基板に対して垂直に入射する。電子ビームの加速電圧は 0 . 5 k V から数 k V 程度、電流量は数 nA 程度とする。図 4 上は測定対象となるコンタクトホ

ール構造を示す。酸化膜 4 3 は酸化膜に限るものでなく窒化膜等の絶縁膜であれば特にお問題はない。下の図は、電子ビームをコンタクトホールを中心線に沿って左右に走査した時に生じる電流（以下、補償電流という。）を電子ビームが照射されるコンタクトホール位置に対応させたグラフである。

## 【 0 0 6 9 】

図示していないが、電子ビームは有限なビーム断面積を持っているので、絶縁膜の端部をビームが横切る瞬間から補償電流は立ち上がり、ビームが完全にコンタクトホールの底部に達した際に補償電流値が飽和する。

## 【 0 0 7 0 】

ビームがコンタクトホールの底部から離れる際も同じで、電流は飽和電流から徐々に減ってビームが完全にコンタクトホール底部を離れた際に補償電流は 0 となる。

## 【 0 0 7 1 】

コンタクトホールは殆ど円形であるため、コンタクトホールを特徴付ける距離はコンタクトホール底を規定する円の直径あるいは半径である。

## 【 0 0 7 2 】

これらを求めるためには計測はコンタクトホールを中心線を通るように行われる必要がある。電子ビームを照射する位置は二次電子像、あるいは設計情報である CAD データから正確な位置を割り出し、ウエハーステージの位置制御用モータ、あるいは電子ビームを偏向器にて制御する事によってコンタクトホールを中心線を通過させる。

## 【 0 0 7 3 】

グラフ縦軸に示した補償電流はコンタクトホール底の酸化膜厚みに依存して変化する性質を持っている。

## 【 0 0 7 4 】

コンタクトホール壁 4 7 の様に厚い酸化膜領域では、補償電流は殆ど 0 を示す。

## 【 0 0 7 5 】

一方、下地であるシリコンが剥き出しになっている領域では、大きな補償電流

が観測される。

【 0 0 7 6 】

従って、観測される補償電流は中心線に沿ってコンタクトホール壁の領域では 0、シリコン剥き出し領域ではある値を有するグラフが得られる。補償電流が 0 でない領域はコンタクトホール底が出ている領域に対応するので、その距離を測定することでシリコンが剥き出しになっている実質的な幅（コンタクトホール底の径 4 8）が得られる。

【 0 0 7 7 】

図 5 はコンタクトホール開口部 5 3 よりも、コンタクトホール底 5 7 の大きさが小さいテーパ形状のコンタクトホール壁 5 8 を有するコンタクトホールに適用した実施例を示している。

【 0 0 7 8 】

テーパ部 5 9 は急であるためコンタクトホール底 5 7 から、少しコンタクトホール壁側に外れると酸化膜厚みは直ぐに 1 0 0 0 Å を超える。このような厚い領域では補償電流が殆ど発生しない。

【 0 0 7 9 】

コンタクトホール底が出ているところでは補償電流が生じそれ以外の場所では殆ど補償電流は 0 なので、補償電流が観察される距離がコンタクトホール底径 5 0 に対応する。このように、コンタクトホールがテーパ形状であっても、本発明の方法ではコンタクトホール底の距離を測定する事が出来る。

【 0 0 8 0 】

尚、電子ビームの径は有限であるので補償電流は完全に図 4 のようにはならず図示はしないが立ち上がりと立ち下がりをする。このよう場合、補償電流の立ち上がりと立ち下がり、又は、電流が完全に飽和した位置から電流 0 に戻った位置等種々の位置情報からコンタクトホールの径を求められることはいうまでもない。

【 0 0 8 1 】

順テーパの側壁の角度が浅い場合は当然ビームがコンタクトホール底部に照射されない状態でも絶縁膜の膜厚が薄くなるので補償電流が流れだしてしまう。こ

の場合におけるコンタクトホールの径を正確に算出する方法はテーパの角度等から別途算出する必要があることはいうまでもない。又、単に補償電流の位置における電流量の変化からだけで求める以外の方法については後述の実施例を参照されたい。

【0082】

図6は1つのコンタクトホール底全体に均一な電子ビームを入射する条件下、コンタクトホール底面積を変化させたときに観察される補償電流量変化を示している。

【0083】

図6に示したように、補償電流はコンタクトホール底面積に正比例することが知見できた。

【0084】

【数1】

$$\frac{I_{st}}{d_{st}} = \frac{I_p}{d_p}$$

【0085】

図7は、コンタクトホール底が円形であるとした場合に想定される直径（換算コンタクトホール底径）に対応する補償電流量変化を示している。面積はコンタクトホール底直径の二乗に比例するので、補償電流は二乗に比例した曲線となる。

【0086】

【数2】

$$I_p \propto d_p^2$$

【0087】

本発明の第2の実施例を図8を用いて説明する。

【0088】

本実施例は、コンタクトホールの底径を求める別の実施例を示している。本実



施例では図 1 あるいは図 2 の電子ビーム発生装置を用いて、電子ビームの太さをコンタクトホールよりも十分に大きな値（例えば数ミクロン角）とし、1つのコンタクトホール底全てに電子ビームが照射されるように、測定対象に対して垂直に電子ビームを一括照射する条件で補償電流を測定することに特徴がある。電子ビーム源としては、電子ビーム強度分布がビーム径の中で 1 % 以内の十分平坦なものを利用することが望ましい。

【0089】

電子ビーム 8 1 が一括にコンタクトホール底 8 2 に照射されると、シリコン基板 8 3 の剥き出し部分で生じた補償電流は、全て足しあわせられて電流計 8 4 にて計測される。

【0090】

二次電子放出効率は物質に固有な値なので、電子ビーム照射条件が同じ場合、単位面積当たりのシリコン剥き出し領域が示す補償電流量は一定である。従って、コンタクトホール底全てに一括して電子ビームを当てた場合には、図 8 のグラフの斜線領域に当るコンタクトホール底面積に比例した補償電流が観測される。

【0091】

こうして得られた補償電流値は測定条件によって値が微妙に変化することがあるため、試料状態がはっきり分かっている場合に得られる補償電流の標準値を用いてコンタクトホール面積に変換する必要がある。

【0092】

そのためにはコンタクトホール底面積の予め分かっている標準試料の単位面積当たり補償電流量を、ある決められた電子ビーム照射条件で測定しておき、次に未知試料に対して同様の電子ビーム照射を行って補償電流量を求める。

【0093】

得られた電流値を標準試料の補償電流量で割ると、標準コンタクトホール面積に対する割合が求まり、コンタクトホール底面積を求める事ができる。

【0094】

つまり、式 1 で表したように、標準試料単位面積当たりの補償電流量と、未知試料単位面積当たりの補償電流量は等しいと言う仮定を置くことによって、補償

電流からコンタクトホール底面積を求められる。

【 0 0 9 5 】

ビーム径がコンタクトホールの径よりも小さい場合、は図 4 のような補償電流が得られる。この場合、（検査対象のホール領域全体を走査した結果流れる）電流値を積分することで上記の補償電流の総和を求める場合と同様な手法でコンタクトホール径を求めることができることはいうまでもない。電流測定装置の時定数が大きい場合には、積分値と平均電流値は凡そ比例関係となるため、電流計の示す平均電流値を用いてホールの径を推定する事が出来る。

【 0 0 9 6 】

順テーパの側壁の角度が浅い場合は当然ビームがコンタクトホール底部に照射されない状態でも絶縁膜の膜厚が薄くなるので補償電流が流れだしてしまう。上記の方法が単純に適用することができる条件は、絶縁膜の厚さ、電子ビームの強度、テーパの角度等から決定することができることはいうまでもない。

【 0 0 9 7 】

単位面積当たりの補償電流量は底に露出している材料、あるいは注入する電子ビーム加速電圧、注入電流量によって変化するので、他の材料、あるいは条件で測定する場合には、必要な予備実験を行って、補償電流と面積の関係を求めて表あるいは関数に変換しておく。

【 0 0 9 8 】

電子ビームを用いたコンタクトホール底径の算出は、具体的には次のように行った。

【 0 0 9 9 】

まず図 8 の様な円柱状コンタクトホールを標準試料として予め作製した。開口部径、底直径はそれぞれ 0. 1 ミクロンであり、ホールの底に露出した材料はシリコン、コンタクトホール壁はシリコン酸化膜である。電子ビーム加速電圧を 1 k V として電子ビーム 8 1 をコンタクトホール 8 5 に注入すると、電流計 8 4 にて補償電流 1 0 0 pA が観測された。

【 0 1 0 0 】

次に、図 9 に示した開口径は同じでコンタクトホール底径が未知である試料を

同様の条件にて測定した。未知試料では凡そ 5 0 pA 電流値が検出された。この実験より未知試料のコンタクトホール底面積が標準状態の 0. 5 であると求められた。

【 0 1 0 1 】

一方、現在はコンタクトホール形状は S E M の断面形状観察によるところが多いので、断面観察で得られるコンタクトホール直径に変換しておくことと両者の比較が容易となる。

【 0 1 0 2 】

図 7 および式 2 に示したように、コンタクトホール底の形状がその直径に関わらず相似であると仮定すると、被測定コンタクトホールの直径は面積の平方根から求められる。

【 0 1 0 3 】

その結果、被測定コンタクトホールは 0. 0 7 ミクロンのコンタクトホール底直径を持つ事が明らかとなった。

【 0 1 0 4 】

上記の実施例においては、ビームの走査は測定するコンタクトホールについて 1 回のみ走査する場合に於いてのみ説明したが、測定の精度を向上させる目的で同一箇所を複数回走査することも可能である。

【 0 1 0 5 】

この場合は、ある検査領域を複数回走査した際に観測される補償電流の平均値からコンタクトホール径を算出することができることはいうまでもない。

【 0 1 0 6 】

第 3 の実施例を図 1 0 を用いて説明する。

【 0 1 0 7 】

コンタクトホール底面積既知の標準試料を用意できないときに、単位面積当たりの補償電流量を決定する実施例を示している。

【 0 1 0 8 】

図 1 0 に示したように、本実施例で開示する測定法は、コンタクトホール開口よりも十分に細く、かつスポットサイズが既知である電子ビーム 1 0 1 を試料に

垂直に入射する事によって達成される。

【 0 1 0 9 】

図 1 あるいは図 2 の方法で作られた電子ビームのスポットサイズはアパチャーに設けられた開口部の大きさに規制されているので電子ビームの大きさは計算で求める事が可能である。

【 0 1 1 0 】

さらに正確さを増すためには、電子ビームの径をナイフエッジ法など直接求めて電子ビーム径とする。

【 0 1 1 1 】

この電子ビームを標準コンタクトホールに注入すると図 1 0 に示した大きさの補償電流が計測される。得られた補償電流を電子ビームスポットサイズで割る事により、標準試料の単位面積当たりの補償電流が求められる。

【 0 1 1 2 】

本実施例においても、電子ビームを繰り返し走査、照射することで補償電流の平均値を求めてコンタクトホールの径を算出できることはいうまでもない。

【 0 1 1 3 】

本発明のコンタクトホール底径測定方法を、量産工場に適用した第 4 の実施例を図 1 1 に示す。

【 0 1 1 4 】

コンタクトホールの大きさは、コンタクトホールを通じて流れる電流量を決定する 1 つの因子である。

【 0 1 1 5 】

高速のメモリあるいはロジックデバイスでは、非常に高速のパルス信号が微妙なタイミングで動作している。コンタクトホールの大きさのバラツキはコンタクト抵抗を通じて回路の時定数に変化を与えるため、パルス伝達時間が設計とは異なった値となり回路の動作不良を引き起こす。従って、ある範囲以上のコンタクトホールサイズのバラツキが存在するとたとえ導通が取れていても回路的には不良となる。

【 0 1 1 6 】

この様な不良発生を防止するために量産工場では製造されるコンタクトホール  
の底径ばらつきを厳密に管理する必要がある。

【 0 1 1 7 】

例えば、製造許容誤差が $\pm 0.01$ ミクロン ( $\pm 10\%$ ) で $0.1$ ミクロンの  
直径のコンタクトホール底を得る事を目標として製造する場合を考える。

【 0 1 1 8 】

式 2 から明らかな様に直径の $10\%$ の誤差は、面積換算で $\pm 20\%$ の誤差が許  
容されることと等価である。この基準を用いて図 1 1 のフローチャートに示した  
ように、コンタクトホール底の管理を行う。先ず、ウェハーに存在する被測定対  
象のコンタクトホールに、電子ビームを照射してそれぞれのコンタクトホールの  
補償電流を測定する。

【 0 1 1 9 】

その結果をメモリーあるいは磁気ディスクに記録する。メモリー、磁気ディスク  
以外のものであっても結果を記録できるものであれば問題ない。

【 0 1 2 0 】

次いで、良品コンタクトホールが示す補償電流値と測定記録された補償電流値  
を比較する。

【 0 1 2 1 】

次にそれぞれのコンタクトホールが示した補償電流と基準値を比較器を用いて  
比較する。

【 0 1 2 2 】

基準値に対して大きさの差が $\pm 20\%$ 以内であれば、計測されたコンタクトホ  
ールは良品であると判断して記憶装置にそのコンタクトホールが良品である事を  
示した情報を記憶させる。

【 0 1 2 3 】

ウェハー全体に渡って不良コンタクトホールの個数がある基準値以下の場合に  
は、次の工程に搬送するためのウェハーキャリアに入れる。一方、基準値範囲  
を超えた場合には、検査対象のウェハーは不良と判断し、それ以降のプロセス処  
理を停止、ウェハーを廃棄するためのキャリアに分別するとともに、エッチン

グ装置の整備を行う等の指示を出す。

【0 1 2 4】

各コンタクトホール底径の測定値が得られるのでその分散や平均値等の統計量を計算する事で、異常が無い場合の統計値と比較する事ができる。この比較は実際にコンタクトホール導通不良が生じる前に解析が可能であるので、プロセスの揺らぎや変化傾向を細かく把握する事が出来る。

【0 1 2 5】

更に、不良を速やかに発見できるため、不良の原因を究明し対処することで後続の製品の不良の発生を防ぐことができる。

【0 1 2 6】

最近の半導体集積回路装置は、回路規模が膨大となりコンタクトホールの個数もそれに連れて幾何級数的に増加している。このような場合ウエハー上の全てのコンタクトホールを測定することは困難である。

【0 1 2 7】

ウエハー上には素子（以下、チップと略す。）が複数規則正しく配列されている。

【0 1 2 8】

この場合、各チップの測定しようとする同一箇所を走査することで各チップの良否を判定することができる。この場合各チップの走査する箇所にコンタクトホールが複数あっても全く問題ない。

【0 1 2 9】

測定個所が広い場合、電子ビームはアパーチャーで整形された単一のビームであっても、電子ビームを走査することで行っても構わない。

【0 1 3 0】

この場合、単一ビームの場合一回の走査による測定であっても、複数回走査した結果であっても同等な結果を得られることはいうまでもない。

【0 1 3 1】

更に、単一ビームを複数回照射しても良い。

【0 1 3 2】

更に、ウエハーの補償電流又はコンタクトホールの径等の測定から得られた結果を測定位置に対応したマップ化することで種々の情報が得られる。

【 0 1 3 3 】

例えば、補償電流値又はコンタクトホールの径を等高線状にマップ化することで、ウエハー中のコンタクト径の分布状態を知ることができる。

【 0 1 3 4 】

この等高線表示は得られた補償電流の値と位置情報とを記憶しておき、画像表示装置又は記録紙等に表示することがで行うことができる。

【 0 1 3 5 】

画像表示装置に表示する場合は、補償電流値、開口径等を基準に画面に表示すると輝度が高くなりすぎたり、輝度が低い等の原因で見えづらくなる場合がある。

【 0 1 3 6 】

この点を補償することで、常に表示画面が見えやすい状態にすることが必要である。

【 0 1 3 7 】

例えば、中心となる値をもとに輝度を調節する等の方法が考えられる。

【 0 1 3 8 】

更に、半導体製造工程に於いては、良品よりも不良品の発生が重要視される。

【 0 1 3 9 】

良否の判定は補償電流、コンタクト径、コンタクト形状から分類できる。これらの分類をウエハー毎あるいは複数のウエハー（エッチングが同一条件、あるいは同一装置、前工程における装置等で分類することでいろいろな情報が採取できる。

【 0 1 4 0 】

これらの分類データを等高線表示と同様な方法で表示することができる。

【 0 1 4 1 】

この結果から、ウエハーの良否の判定を行ったり、エッチング機器のエッチング分布を知ること、エッチング機器のエッチング量の平均化を行うことや当業

者であれば自明である情報を得ることができ、この結果を用いてプロセスの条件を最適化することが容易になる。

【 0 1 4 2 】

コンタクトホールは通常ドライエッチング法を用いて行われる。

【 0 1 4 3 】

ドライエッチングは装置によりエッチング速度が装置全面で等速になるように調整されるが、エッチング速度の速い箇所と遅い箇所がどうしても生じてしまう。

【 0 1 4 4 】

この等高線表示を複数のウエハでの分布を取ることで、製造装置に機差がある場合はその装置の総合的な分布の傾向から、装置の調整を行うことでエッチング速度の均一性を向上させることができる。例えば、電極の傾きを変える等の方法がある。

【 0 1 4 5 】

複数のウエハの分布を採取する方法は種々考えられるが、例えば、同一の作業条件で行われたウエハのみを集計することや、異なった条件のウエハを規格化することで行うことができる。

【 0 1 4 6 】

更に、エッチング速度の分布はその前の工程である絶縁膜の厚さの分布も影響する。絶縁膜はCVD装置の状態が影響する。

【 0 1 4 7 】

このような場合、前の製造工程と、エッチング工程が同一機種で行われたウエハのデータを集計することで不良の原因を調査することができる。

【 0 1 4 8 】

このようなデータを採取することで、エッチングの良否を判定するコンタクト径の測定から当該工程の前の工程の問題点を道程することも可能となる。

【 0 1 4 9 】

又、装置の傾向が分かっている場合、ウエハの全面を検査するのではなく、ウエハの不良になりやすい箇所のみを重点的に検査することで、測定時間を短



縮することができる。

【0 1 5 0】

例えば、分布的に、エッチング速度が早い（補償電流値が高い、開口径が大きい）箇所や、エッチング速度が遅い（補償電流値が低い、開口径が狭い）部分のみを測定することで行うことも可能である。

【0 1 5 1】

コンタクトホール径の分布図からは、以上述べてきた以外に、装置の新規立ち上げや、オーバーホール後の調整、修理後の確認等の交換、修理を行う場合に有益な情報が得られ、これらの情報から、立ち上げ、調整等の作業に必要なデータを供給することでこれらの作業を短時間で終了することが可能となる。

【0 1 5 2】

これらの情報は装置のメンテナンス情報としても有用である。例えば不良分布が通常の分布からの偏向／増大等を統計的にモニターすること及び後述する異物の検査等も活用することで、オーバーホールの時期の推定を精密に行うことができる。又、装置の異常を不良が生じる前に検知できるという効果もある。

【0 1 5 3】

ウエハの良否判定であるが、通常ウエハは複数枚を 1 組（以下、バッチと略す。）として半導体製造工程に投入されるので、当該工程に投入されるバッチの先頭のウエハと最後のウエハを検査しても良い。

【0 1 5 4】

尚、先頭のウエハの状態が危険な状態であることが検査の結果分かった場合は、当該工程に投入される後続のウエハを全て検査して不良が発生した時点で当該工程の差機器の調整を行っても良いし、先頭のウエハの結果に基づいて当該工程の作業を行う半導体製造装置の調整を行っても良い。

【0 1 5 5】

コンタクトホールは立体構造物なので、立体としての特徴が一目で分かるような検査結果が得られると非常に便利である。殆どのコンタクトホールあるいはスルーホールは円形の断面を持つので、ホール開口部径  $\alpha$  とホール底径  $\beta$ 、およびその深さ  $d$  を特定できれば、測定対象のコンタクトホール形状を凡そ表現できる

【0 1 5 6】

第 5 の実施例として、コンタクトホール形状の情報を取得する方法、およびそれらを表示する方法を示す。

【0 1 5 7】

ここで、開示する技術は、補償電流測定から得られるコンタクトホール底の形状あるいは材料情報と、通常の走査電子像から得られるコンタクトホール開口形状情報を合成する方法である。コンタクトホール深さの情報は直接得られないので、プロセスで実際に用いたコンタクトホール壁構成材料を堆積したときに測定される厚みの実測値を用いる。

【0 1 5 8】

第 1 2 図は円柱形状をもつコンタクトホール 1 2 2 に本手法を適用した例を示している。

【0 1 5 9】

コンタクトホール周辺あるいはその中を走査する電子ビームは第 1 の実施例で示した様な電子ビーム 1 2 1 を用いる。

【0 1 6 0】

コンタクトホール周辺部を電子ビーム走査する場合にはその高さに、コンタクトホール底を走査する場合には底の高さに電子ビームを自動的に収束させる。

【0 1 6 1】

図 1、図 2 のように平行電子ビームを利用すれば、焦点深度が無限となり、自動焦点調節をしなくても良い。

【0 1 6 2】

図 1 2 のグラフはコンタクトホール中心線に沿って二次電子量と補償電流を電子ビーム照射された位置に対して表示したものである。

【0 1 6 3】

実施例では簡単のために、コンタクトホール中心線 1 4 1 に沿って一回だけ走査したときに得られる結果を示している。

【0 1 6 4】

図 1 2 に示したコンタクトホールは、開口径  $\alpha$  の大きさと底径  $\beta$  の大きさがほぼ同じなので、二次電子走査像と補償電流両方のグラフは立ち上がり下がり位置が一致している。

【 0 1 6 5 】

この 2 つのグラフとプロセスデータから得られるコンタクトホールの深さ  $d$  から第 1 4 図左に示したような円柱状コンタクトホールの 3 次元表示図形が得られる。

【 0 1 6 6 】

コンタクトホールの中心を通過するように、走査方向を変えて多数の断面形状を測定すれば、より正確なコンタクトホールの 3 次元表示図形を作製する事ができる。

【 0 1 6 7 】

断面形状を 3 次元画像に還元する手法は、3 次元コンピュータグラフィックの世界で使用されているさまざまな手法を使う事が出来る。

【 0 1 6 8 】

図 1 3 は順テーパ形状を持つコンタクトホールに、本手法を適用した例を示している。

【 0 1 6 9 】

図 1 3 の様に開口部径  $\alpha$  に比べてコンタクトホール底径  $\beta$  の大きさが小さいコンタクトホールでの形状を測定する場合、二次電子から得られるグラフの立ち上がり下がり形状と、補償電流から得られるグラフ立ち上がり立ち下がり形状の間に差が生じる。

【 0 1 7 0 】

開口部径  $\alpha$  に相当する二次電子量を示すグラフの矩形領域の幅は、底径  $\beta$  に対応する補償電流が示す矩形領域の幅よりも大きくなり、開口部径とコンタクトホール底径に差があることが分かる。

【 0 1 7 1 】

プロセスから分かっているコンタクトホール深さ  $d$  を加味して 3 次元表示すれば、検査対象のコンタクトホールの形状は、図 1 3 の右に示したような逆三角錐

として表示される。

【0172】

コンタクトホール底の大きさの方が、開口部の幅よりも大きい逆テーパー形状のコンタクトホール壁を持つ場合、前実施例のように垂直に電子ビームを注入しただけでは、開口部径と底径が同じ径を持つコンタクトホールと区別が出来ない。

【0173】

逆テーパー形状のコンタクトホール壁を持つ場合、電子ビームを傾斜してコンタクトホールに入射することにより、コンタクトホール底の周辺部にも電子ビームが到達するようにして、コンタクトホール底形状を計測する方法を開示している。

【0174】

小さな角度に電子ビームを傾斜させるためには、電子レンズあるいは電子ビーム走査用偏向器を利用する。

【0175】

大きな角度に電子ビームを傾斜させるためには、電子ビームは基板表面に垂直照射されるように固定しておき、ウエハー支持ステージをウエハー中心を傾斜軸として傾斜させる。ステージ傾斜を行えば±数10度の傾斜実現が容易に出来るため、コンタクトホールのテーパー角度とほぼ等しい角度の電子ビームを注入する事が出来る。

【0176】

図15、図16、図17は円柱状のコンタクトホール、順テーパー状および逆テーパー状コンタクトホールそれぞれに傾斜させた電子ビームを注入して検査を行った結果を示している。

【0177】

円柱状のコンタクトホールに傾斜した電子ビーム152をコンタクトホール中心軸に沿って移動しながら照射すると、コンタクトホール壁150の領域に電子ビーム152が照射されている間は二次電子153が強く観察される。

【0178】

電子ビームがコンタクトホールエッジ 1 5 1 の領域に達すると二次電子強度は急激に減少する。

【0 1 7 9】

コンタクトホール底 1 5 4 に電子ビームが照射されている間は、二次電子は観測されない。再び電子ビームが対岸のコンタクトホール壁 1 5 5 に当るように成ると、徐々に二次電子が検出されるようになる。

【0 1 8 0】

一方、補償電流は電子ビームがコンタクトホール壁 1 5 0 に照射されている間は観察されず、電子ビームがコンタクトホールエッジ 1 5 1 に達すると検出されはじめる。コンタクトホール底 1 5 4 に電子ビームが当るように成ると急激に補償電流が増加し、再びコンタクトホール壁 1 5 5 に電子ビームが当るように成ると急激に電流量が減少する。

【0 1 8 1】

一方、図 1 6 のテーパ型コンタクトホールでは、コンタクトホール壁 1 6 1 に電子ビームが照射されているときは強く二次電子が検出され、電子ビームがコンタクトホールエッジ 1 6 2 に差し掛かると急激に二次電子量が減少する。

【0 1 8 2】

コンタクトホール底 1 6 3 に電子ビームが照射されている間は殆ど二次電子は検出されず、再びテーパ部 1 6 4 に電子ビームが照射されはじめると、二次電子が観測されるようになる。これは、テーパ面に垂直方向に二次電子検出器 1 6 5 があると、コンタクトホール壁に電子ビームが当たってなくても、テーパ面からの二次電子が検出されるように成るためである。

【0 1 8 3】

一方、補償電流は、電子ビームがコンタクトホール壁 1 6 1 に照射されている間は検出されず、コンタクトホールエッジ 1 6 2 に差し掛かると検出されるように成る。

【0 1 8 4】

コンタクトホール底 1 6 3 に電子ビームが照射されている間は大きな補償電流が検出される。再びテーパ部 1 6 4 が電子ビームで照射されはじめると、補償

電流は急激に減少する。

【0 1 8 5】

図 1 7 に示した逆テーパ状コンタクトホールでは、電子ビームがコンタクトホール壁 1 7 1 を照射している間は二次電子が強く検出され、電子ビームがコンタクトホールエッジ 1 7 2 に差し掛かると二次電子量が急激に減少する。

【0 1 8 6】

コンタクトホール底 1 7 3 を電子ビームが照射している間は二次電子は殆ど検出されず、再びコンタクトホールの逆テーパ面 1 7 4 に差し掛かっても二次電子は殆ど検出されない。

【0 1 8 7】

対岸のコンタクトホール壁 1 7 5 表面に二次電子が照射されて始めて二次電子が観察されるようになる。

【0 1 8 8】

一方、補償電流は電子ビームがコンタクトホール壁 1 7 1 表面を照射しているときは検出されない。コンタクトホールエッジ 1 7 2 に差し掛かると急激に補償電流が検出されるようになる。

【0 1 8 9】

コンタクトホール底 1 7 3 に電子ビームが照射されている間は補償電流が検出され、再び逆テーパ部 1 7 4 が電子ビームで照射されはじめると、補償電流は検出されなくなる。

【0 1 9 0】

補償電流が検出されはじめる位置はコンタクトホールテーパの傾きと入射電子ビームの傾きが一致しているときに、コンタクトホール底の最外周部位置と一致する。従って、逆テーパ形状のコンタクトホールの底径を求めるためには、種々の電子ビーム入射角で実験を行い、最も外側で補償電流が検出される角度を探す。ホールの深さ  $d$  は既知なので、電子ビームの入射角度と深さから、開口部からみてそれより外側あるコンタクトホール底の最外周までの距離を求める事ができ、開口部径にその値を加える事でホール底径が算出される。それらを加味して 3 次元表示すると図 1 8 に示したコンタクトホールの 3 次元図形が得られる。

【0 1 9 1】

次に、コンタクトホール内部に生じた異物を検出し特定する第 6 の実施例を開示する。

【0 1 9 2】

コンタクトホール底にはエッチングを行った際に生じるレジストかす、パーティクルあるいは他のプロセスで発生したごみ 1 9 1 等の種々の異物が存在する事がある。これら異物が存在すると、プラグとして電氣的導通を取るためにコンタクトホール中に堆積されるタングステンやアルミ、ポリシリコン等の充填が不十分となるため、電氣的コンタクト不良を引き起こす。そこで、半導体プロセスではプラグ形成以前にこれら異物を検出する必要がある。

【0 1 9 3】

問題となるごみ 1 9 1 はその材質厚みにも依存するが、一般に厚みが 5 0 0 Å 以上あるので、照射される電子ビームがコンタクトホール底に到達するのを妨害する。

【0 1 9 4】

そのため、異物がコンタクトホール底に存在すると、正常コンタクトホールに生じる補償電流よりも小さな値の補償電流量が観測される。

【0 1 9 5】

また、一般に異物は下地材料とは異なりかつ絶縁体であることが多い。下地材料は電氣の良導体なので、両材料では二次電子放出比が異なり、結果的に異物の有無は補償電流の差異を生じる。

【0 1 9 6】

半導体製造プロセスで利用される材料の種類は極めて制限されているので、現れる異物も制限された元素の化合物から成っている。そのため、予め、可能な異物を想定する事が可能であり、それら異物が存在するときに生じるであろう補償電流の変化を予めシミュレーションする事により、異物を特定することが可能である。

【0 1 9 7】

図 1 9 は底 1 9 4 に小さなごみ 1 9 1 が存在する円柱状のコンタクトホールを

示している。

【 0 1 9 8 】

図 1 あるいは図 2 の方法で発生された細い電子ビームを試料に対して垂直に図 1 9 の左側からコンタクトホールに沿って走査すると、電子ビーム 1 9 2 がコンタクトホール壁 1 9 3 に照射されている間は、補償電流は観測されない。

【 0 1 9 9 】

電子ビームがコンタクトホールエッジ 1 9 5 に差し掛かると補償電流が検出されはじめる。コンタクトホール底に電子ビームが照射されている間は補償電流が検出されるが、ごみに電子ビームが照射されると、補償電流が検出されなくなる。

【 0 2 0 0 】

また、ごみ領域を超えるとコンタクトホール底を電子ビームが照射するようになり、補償電流が再び観察されるようになる。電子ビーム照射位置に対応した補償電流の流れ具合を示したのが図 1 9 のグラフであり、このグラフとごみがないときのグラフと比較する事によりごみの大きさを求められる。このようにコンタクトホール底ごみの有無あるいは大きさを補償電流を測定することにより求める事が出来る。

【 0 2 0 1 】

図 2 0 はテーパー状のコンタクトホール底にごみが堆積した場合の実施例を示している。コンタクトホール左側から電子ビーム走査を開始した場合、コンタクトホール壁 2 0 1 に電子ビームが照射されている間は補償電流は検出されない。テーパー部 2 0 2 も絶縁体厚みが厚いので、補償電流は検出されない。

【 0 2 0 2 】

一方、電子ビームがコンタクトホール底 2 0 3 に照射されるように成ると、補償電流が検出される。底が出ている間は同じ大きさの補償電流が検出されるが、ごみが存在する領域に電子ビームが照射されている間は、補償電流は検出されなくなる。ごみの無い試料のグラフと比較する事によって、ごみの存在有無を調べる事、あるいはその大きさを知る事が出来る。

図 2 1 はごみ 2 1 0 が逆テーパー型コンタクトホールの中心部にある場合を示



している。左側から電子ビーム 2 1 1 を走査すると、電子ビームがコンタクトホール壁 2 1 2 に照射されている間は補償電流は検出されない。

【 0 2 0 3 】

電子ビームがコンタクトホールエッジ 2 1 3 に達すると補償電流が観測されはじめ、電子ビームがコンタクトホール底 2 1 4 に照射されている間は、大きな補償電流が検出される。ごみ 2 1 0 に差し掛かると補償電流が検出されなくなる。

【 0 2 0 4 】

ごみを通過して再びコンタクトホール底 2 1 4 を電子ビームが照射するようになると再び補償電流が検出されはじめる。電子ビームがコンタクトホールエッジに差し掛かると補償電流は検出されなくなる。

【 0 2 0 5 】

補償電流が検出されない位置はごみが存在する領域に対応しこの幅からごみの大きさが推定できる。

【 0 2 0 6 】

また、二次電子放出比は材料によって異なり、かつその大きさは原子番号によって照射電子ビームのエネルギー依存性が異なる性質がある。そのため、コンタクトホール底にあるごみの有無を特定した後、種々の加速エネルギーを有する電子ビームを照射して、補償電流の変化を見る。予め、想定される異物に対して同じような実験を行って補償電流の加速エネルギー依存性を決定しておき、その依存性の近似度をニューラルネット等の技術を利用して求め、測定対象物を特定できる。

【 0 2 0 7 】

図 2 2 は、断面形状が長方形で 1 つのコンタクトホールの大きさよりも面積が大きくかつ試料に垂直入射される電子ビーム 2 2 2 を用いてコンタクトホール底 2 2 3 のプロファイルを得る方法を開示した実施例である。

【 0 2 0 8 】

電子ビームは、図 2 2 に示したように、例えば、1 つのコンタクトホールを含む領域の左端から右端に向かって照射軸を試料に対して垂直に保持したまま、かつ、ビーム軸を回転させないで走査される。この走査は電子ビーム自身を走査し

ても良いし、電子ビーム照射軸をウエハーに対して一定角度に固定しておき、ウエハーを水平に移動させてもよい。

【0 2 0 9】

検出されている補償電流の大きさはコンタクトホール底 2 2 3 に照射されている電子ビーム面積に比例する。そのため、その微分値が長方形電子ビームが正に照射されようとしているエッジ 2 2 4 近傍の位置における補償電流量を示す。

【0 2 1 0】

図 2 2 に示したように、本実施例では電子ビームをコンタクトホール壁 2 2 5 表面領域から徐々にコンタクトホール底に照射されるように走査を行う。

【0 2 1 1】

電子ビームがコンタクトホール壁表面領域を照射している間は、補償電流は検出されない。コンタクトホール底 2 2 3 に電子ビームが照射される位置に来ると補償電流は急激に増加する。

【0 2 1 2】

電子ビームがコンタクトホール底を通過している間は、徐々に補償電流量が大きくなっていき、コンタクトホールを全て含んだところで最大値となる。コンタクトホールを電子ビームが通過してもう片側の電子ビームエッジがコンタクトホール部に来ると補償電流は減少しはじめ、コンタクトホール領域に電子ビームが照射されなくなると補償電流は検出されなくなる。

【0 2 1 3】

測定された補償電流の立ち上がり位置と補償電流の最大値を示す山の頂上の距離がコンタクトホール底の距離に対応し、それを用いてコンタクトホール底の距離を測定出来る。この方法で測定される距離は、円を 2 本の平行線で挟んだときに得られる距離に相当するので、電子ビームを正確にコンタクトホールに対して位置合わせしなくても円の正確な直径を測定できる。

【0 2 1 4】

一方、コンタクトホールが円形であると仮定すると、円の面積増加率は円の中心線 2 2 6 の場所で最大となるため、補償電流の増加率が最大となった位置が円の中心線の位置に相当する。このことからコンタクトホール全部を走査しなくて

も補償電流の増加率が最大になる位置までの測定を行えばコンタクトホール底径を求める事ができる。

【0 2 1 5】

つまり、凡そ半分の時間でコンタクトホール底径を測定できる。また、微分値は頂点がはっきりしているので距離を正確に求められる。

【0 2 1 6】

また、細い電子ビームを利用して距離測定を行う場合に比較して太い電子ビームが利用できるので、検査装置の電子ビーム系の構成が容易である。

【0 2 1 7】

半導体デバイスの製造に於いては、コンタクトホール底径を高速にしかも正確に測定する必要がある。図 2 3 は、測定精度に優れた細い電子ビームを走査して得られる距離測定モードと比較的太い電子ビームを利用してコンタクトホール底全体を流れる補償電流を測定することによってコンタクトホール径を測定する方法を合成して、測定精度を確保しながら計測速度を飛躍的に向上する方法を開示している。

【0 2 1 8】

一般に、1つのコンタクトホールに対して精密な細い電子ビーム走査を行い、その補償電流量変化位置の間隔からコンタクトホール底径を測定する測長モードでは、補償電流の相対変化を用いるので下地の微妙なバラツキの影響が少なく、コンタクトホール径測定精度が高い。しかし、1つのコンタクトホールに対して緻密な電子ビーム走査を行って多くの情報取得を行うので、多くのコンタクトホールの検査を行うためには大変多くの時間とデータ処理能力が必要である。そこで、測定速度が速い補償電流量からコンタクトホール底径を求める一括測定モードと、測長モードを組み合わせ、検査精度を高く維持しかつ、検査速度を向上する。

【0 2 1 9】

具体的には、先ず被測定対象であるコンタクトホールのうち1つあるいは比較的少数のコンタクトホールについて、測長モードで精度良くコンタクトホール底径測定を行う。次に、同じコンタクトホールに対して一括電流測定モードを適用

してコンタクトホールを流れる補償電流とコンタクトホール底径の関係を求め一括電流面積の規格化を行う。

【 0 2 2 0 】

この測定により測定対象におけるコンタクトホール径と補償電流の関係が決定される。ついで、他のコンタクトホールに一括モードを順次適用してそれぞれのコンタクトホールに対する補償電流を測定し、先ほど求めた補償電流とコンタクトホール底径の関係より、測定された補償電流をコンタクトホール底面積あるいは径へと変換する。

【 0 2 2 1 】

本実施例のようにすると、高い測定精度で、高速にコンタクトホール底径を測定できる。

【 0 2 2 2 】

図 2 6 は本発明において、測定対象とする第 1 の被検査試料と第 2 の被検査試料の位置関係を示している。第 1、第 2 の被検査試料は同一基板の上に作製された、最終的に 1 つのチップとして切り取られる領域を指している。

【 0 2 2 3 】

半導体 LSI は、ステッパーと呼ばれる露光装置を利用して作製される為、隣同士のチップの間隔あるいはチップ内部のレイアウトは正確に同じになるようになっている。

【 0 2 2 4 】

従って、第 1 の被検査試料チップの角を原点 ( 0 , 0 ) として相対座標で表現されたチップ内部のレイアウトは、第 2 の被検査試料チップの角を原点 ( 0 , 0 ) として表したチップ内部のレイアウトと正確に一致する。

【 0 2 2 5 】

従って、両者を比較してある一定基準以上の変化が認められれば、その領域は不具合を含んでいると考えられる。本発明は、電流法の場合に、この様な比較法を用いる事により検査試料のレイアウト情報を CAD データから知る事無しに、配線の配置状態に関わらず、配線不良が特定された位置のみを知る事が可能な技術である。

【 0 2 2 6 】

電流を用いた測定の場合、二次電子を用いた場合と異なって、配線以外に照射された電子ビームは有効な電流を生じない為、二次電子の場合と比較して検出された信号に含まれるノイズが小さい。

【 0 2 2 7 】

図 2 7 は本発明の第 7 の実施例を示している。ここでは、配線 A、配線 B が検査対象である。一番左の数字 1、2、3、4、5、6、7 は帯状に走査される電子ビームのライン番号を示している。本実施例では通常の半導体デバイスで見られるように検査対象配線の大きさは一定（例えば 0. 1 5 ミクロン）である場合を示している。一般に、半導体デバイスは露光技術やエッチング技術などの制約から、配線と配線の間隔は配線の直径よりも長い。本実施例では、配線はランダムに並んでおり、一定の周期を持たない例が示してある。

【 0 2 2 8 】

W は 1 回に走査する電子ビームの幅を示している。

【 0 2 2 9 】

図 2 7 左は良品チップの検査領域を示し、図 2 7 右は不良品チップの検査領域を示している。これらのチップは図 2 6 で説明した性質を持つ、半導体ウェハー上に同時に形成された複数のチップの内のいずれかを意味している。

【 0 2 3 0 】

どのチップ同士を測定するかは、場合によって異なるが、一般的には隣同士、あるいは良品が取れやすい特定のチップを第 1 の被検査試料に指定し、第 2 の被検査試料を順次代えて検査を行う。

【 0 2 3 1 】

自明なことながら 3 つ以上のチップの検査結果を比較して、検査結果を多数ある物を良品とする判断を行う事も出来る。電子ビームを利用した配線の良不良判定は電子ビームを照射した際に生じる電流の大きさや極性の変化を利用する。

【 0 2 3 2 】

ここでは、簡単のために、不良品配線にはパターン欠陥が存在するために、不良品配線にて観測される電流は良品配線の場合に比べてずっと小さな電流しか流

れないものとして議論を進める。

【 0 2 3 3 】

本実施例では、配線 G の部分が不良であり良品、不良品の最大電流量がそれぞれ 1 0 と 0 と仮定した。図 2 7 下のグラフは配線 G が測定対象となる 4 番目の電子ビーム走査時に観測された、電子ビーム走査位置に対応した電流量を示している。

【 0 2 3 4 】

本実施例で開示している検査は次のように行う。まず、検査試料となるチップの位置座標を電子ビーム照射を行う為の位置座標に一致させる。

【 0 2 3 5 】

検査試料となる最先端デバイスの配線のサイズは 0. 2 ミクロン以下であるので、この位置座標が十分に再現できる 1 0 0 0 Å よりも高い位置精度でアライメントを行う。これを行う為には、ウェハー上に形成されているアライメントマークを利用する。アライメントマークを利用する方法には幾つかの方法がある。1 つは半導体プロセスで通常利用されているマスクアライメントのためのアライメントマークを利用する方法である。

【 0 2 3 6 】

このアライメントマークは酸化膜、金属膜などで出来ており、基板表面にあるので、検査装置内部に設けられた走査顕微鏡を利用して、二次電子画像に変換する。画像で見えている位置が正しく電子ビームが照射されている位置なので、アライメントマークの位置を原点とするように電子ビーム走査系の位置座標を一致させる。

【 0 2 3 7 】

走査顕微鏡を使用しない別の方法としては、アライメントマークに流れる電流を測定する方法がある。アライメントマークとして検査試料と同様の配線形状のものを別途作製する。配線の大きさは検査試料と同様の大きさの物でもよいし、測定精度を上げる為にもっと小さな物を用いてもよい。

【 0 2 3 8 】

配線の測定原理と同じように、電子ビームが配線以外の場所を照射している間

は観測される電流が小さく、配線の位置に電子ビームが照射されると電流は多く流れる。電子ビーム照射位置がマークに一致していると、観測される電流は最大になるので、この位置をアライメントが合っている位置として利用する。

【 0 2 3 9 】

アライメントが終了後、第 1 の被検査試料の配線が形成されている領域に対して、ライン 1 に沿って、長さが配線幅に相当する線状電子ビームを検査試料表面に垂直に左から右に走査する。検査領域の端にたどり着いたら幅 W だけ走査方向とは垂直の方向に電子ビーム照射位置をずらし、再び電子ビームの走査をライン 2 に沿って行う。

【 0 2 4 0 】

走査の方向は s 字型あるいはミアンダ状にしてもよいし、最初の位置に復帰して左から右に走査を行ってもよい。垂直方向の移動幅 W は凡そ配線幅の大きさに取る。

【 0 2 4 1 】

同様にライン 3、4、5、6、7、に沿って走査を行い、検査試料全体を隈なく走査する。良品と不良品チップの比較のタイミングは検査装置に設置された記憶装置の容量と関係がある。

【 0 2 4 2 】

1 ライン毎に良品と不良品の比較を行えば、1 ライン分の波形を記録する記憶装置を設ければよい。良品 1 チップ全てを測定してから、不良品チップを測定する場合には、1 チップ分の情報を記憶する為の記憶装置が必要となる。しかし、検査速度を向上させる為には、物理的に距離のあるチップ間の電子ビーム照射位置の移動は、多くの時間を必要とする為、出来るだけ大きな記憶装置を用いて、1 チップの情報を丸ごと記憶してその情報と比較する事が望ましい。

【 0 2 4 3 】

図 3 4 に本発明の検査装置の構成を示した。また、図 3 5 に測定の流れを示した。試料に電子ビームを垂直に照射するための電子銃 3 9 1、ウェハー 3 9 3 と照射される電子ビーム 9 2 の位置関係を定める為の X Y ステージ 3 9 4、電子ビーム照射された位置を正確に測定する為の光学式精密距離測定装置 3 9 5、ウェ

ハー底部に設けられた補償電流測定用の電極 3 9 6、電流を増幅する為の電流アンプ 3 9 7、電流をデジタル信号に変換する為の変換器 3 9 8、デジタル信号を記憶する装置 3 9 9、4 0 0、記憶した信号同士を比較するための比較装置 4 0 1、および比較結果に基づいて配線の良否を判断する為の判定装置 4 0 2 から成っている。

【0 2 4 4】

判定情報を蓄積するデータベース 4 0 3、不良位置を記憶する記憶装置 4 0 4、不良位置出力装置 4 0 5、表示装置 4 0 6 から成っている。

【0 2 4 5】

記憶装置は各チップに対応した電流波形を別々に記憶する為に複数設けられている。また、不良が検出された位置情報を記録する為の記憶装置も設けられる。必要に応じて、不良のランク分けを行って、ランク別に位置情報を記録する事も行われる。

【0 2 4 6】

電子ビームの走査は電子銃を特定の位置に固定しておき、X Y ステージ 3 9 4 を電子銃位置に相対して移動する事によって用いて行う。X Y ステージには光学式精密距離計 3 9 5 が設けてあり、1 0 0 Å の精度で電子ビームが照射されている位置を正確に測定する。

【0 2 4 7】

第 1 の被検査試料に対して電子ビームがライン状に走査されている間、試料で生じる電流は電流測定器によって第 1 の電流波形として測定され、X Y ステージ位置から計算される第 1 の電子ビーム照射位置座標と組にして第 1 の記憶装置 9 9 に記録する。

【0 2 4 8】

以上の測定を別のチップの同一パターン形成箇所である第 2 の被検査試料に対しても行い、第 2 の電流波形を取得し第 2 の電子ビーム照射位置座標と組にして第 2 の記憶装置に記録する。

【0 2 4 9】

図 2 7 に示したように、4 番目のラインに沿った走査では、良品では配線 G に



相当する位置に電子ビーム走査位置が来たときに最大 1 0 の電流量が観測されるが、不良品の配線に差し掛かったときには最大 0 の電流しか観測されない。

【 0 2 5 0 】

つまり、良品と不良品では配線 G の位置で電流波形に差が生じるため、配線 G に不良が存在する事が分かる。そこで、変化のあった不良 G の位置を精密位置測定装置 3 9 5 から求めて、記憶し必要によってディスプレイ、プリンタ、あるいは他の解析で使えるように、ネットワークに位置情報を出力する装置 4 0 5 が設けられている。この様に、本発明は、検査試料の配線位置が未知であるにも関わらず、不良配線の位置を特定する事が出来る。

【 0 2 5 1 】

図 2 8 は本発明の第 8 の実施例を示している。

【 0 2 5 2 】

電流法では、配線の材質が均一であるときは、配線のどこの部分に電子ビームを照射された場合にも単位面積あたりに換算すれば、同じ電流が流れる性質がある。

【 0 2 5 3 】

従って、配線の良否検査を行う為には、必ずしも配線全体を一遍に電子ビーム照射する必要が無い。また、パターン欠陥はパターン周辺部から起るので、電子ビーム照射する位置を配線の周辺部に設定すれば、欠陥検出感度が高くなる。逆に、配線の中心に電子ビームが照射されるように設定すれば、欠陥検出感度は小さくなる。本実施例では、配線幅 W よりも十分に細い点状平行電子ビーム 3 3 1 を利用する。走査ラインの間隔 L は配線幅と同じ程度にする。

【 0 2 5 4 】

図 3 6 は、本実施例を行う為の検査装置の構成を示している。図 3 7 は検査の手順を示している。

【 0 2 5 5 】

第 6 の実施例と同様にアライメントが終了後、第 1 の検査試料の配線が形成されている領域に対して、ライン 1 に沿って、配線幅に比べて十分に小さいサイズを持つ電子ビームを点状電子ビーム銃 4 1 0 から検査試料表面に垂直に入射し左

から右に走査する。

【0 2 5 6】

先ほど述べたように、電子ビーム照射位置は欠陥検出感度に影響するので、感度を大きくしたい場合は、ラインの端に、感度を下げたい場合には、配線の中心部を通過するように設定する。

【0 2 5 7】

検査領域の端にたどり着いたら幅Wだけ走査方向とは垂直の方向に電子ビーム照射位置をずらし、再び電子ビームの走査をライン2に沿って行う。走査の方向はs字型にしてもよいし、最初の位置に復帰して左から右に走査を行ってもよい。垂直方向の移動幅Wは凡そ配線幅の大きさに取る。

【0 2 5 8】

同様にライン3、4、5、6、7、に沿って走査を行い、検査試料全体を隈なく走査する。電子ビームの走査は電子銃を特定の位置に固定しておき、ウェハーステージを電子銃位置に相対して移動する事によって行う。ウェハーステージには光学式精密距離計が設けてあり、100Åの精度で電子ビームが照射されている位置を正確に測定する。電子ビームがライン状に走査されている間、試料で生じる電流は電流アンプ、D/A変換機によって第1の電流波形として測定され、XYステージ位置から計算される第1の電子ビーム照射位置座標と組にして記憶装置に記録する。

【0 2 5 9】

以上の測定を別のチップの同一パターン形成箇所である第2の検査試料に対しても行って第2の電流波形および第2の電子ビーム照射位置座標と組にして記憶装置に記録する。

【0 2 6 0】

図28に示したように、4番目の走査では、良品では配線Gに相当する位置に電子ビーム走査位置が来たときに最大10の電流量が観測されるが、不良品の配線に差し掛かったときには最大0の電流しか観測されない。従って、この差を検出する事で、配線のパターン欠陥が検出できる。

【0 2 6 1】

図 2 9 は、ランダムに配置された複数の配線に同時に線状電子ビーム 3 4 1 を照射して検査を行う第 9 の実施例を示している。

## 【 0 2 6 2 】

電子ビームは走査方向には非常に短く例えば 1 0 0 Å、走査方向に垂直の方向に複数配線が含まれる様な数ミクロンの長さの線状形状をしている。電子ビーム照射電流量は数ピコから数ナノアンペア、加速電圧は数百から数キロボルトを用いる。

## 【 0 2 6 3 】

図 2 9 の良品試料に於いて、電子ビームが配線 a に差しかかると、電流が流れはじめる。電子ビームが配線 b に差し掛かると d と b の電流の合成となるため更に電流が流れる。電子ビームが d の領域を通過してしまうと再び電流値が小さくなり、更に、配線 b の領域を通過すると電流量は 0 となる。

## 【 0 2 6 4 】

一方、配線 d が不良である不良品では、配線 d に差し掛かったときに示す電流値が非常に小さく、良品と不良品の同じパターンが形成されている位置にある 2 つの波形を比較すると波形が異なっている。一方、良品配線が形成されている場所 abcd では、良品チップ不良品チップとも同じ電流波形が得られる。

## 【 0 2 6 5 】

従って、図 3 4 で示した検査装置、および図 3 5 で示した検査手順と同様の方法を用いて、不良を検出およびその位置を特定できる。このように複数の配線に電子ビーム照射した場合にも、配線位置がずれているときは、それぞれの配線が発生する電流が測定位置に対して独立して測定され、良品チップと不良品チップの電流波形には大きな差が生じるため、電流波形を比較する事によって配線の不良を検出できる。

## 【 0 2 6 6 】

図 3 0 は配線が縦方向に同じ形状を持つ場合の検査に当る第 1 0 の実施例を示している。

## 【 0 2 6 7 】

照射する電子ビーム 3 5 1, 3 5 2 は走査方向に 1 0 0 Å 程度、横方向には数

ミクロンの幅を持つ線状電子ビームを用いる。

【 0 2 6 8 】

本発明の測定原理である電流測定法で得られる電流値は同時照射されている配線が生じる電流の合計値に等しい性質がある。そのため、本実施例のように配線断面形状が同じ場合も、測定される電流量は、電子ビームがそれぞれの配線部分に照射された場合に生じる電流値の合計となる。

【 0 2 6 9 】

図 3 0 に於いて、電子ビームが配線 b、d に差し掛かったときには良品では最大 1 7 が観測されるが、不良品では 1 1 しか観測されない。従って、良品と不良品では、大きな電流波形の違いが生じ、不良品の存在が検出される。

【 0 2 7 0 】

つまり、配線の位置が重なっている場合にも、図 3 4 の検査装置および図 3 5 の検査手順を用いて不良の検出および不良位置の特定を行う事が出来る。

【 0 2 7 1 】

図 3 1 は、配線幅の異なった配線が軸対称に存在する場合の検査方法を開示した第 1 1 の実施例を示している。

【 0 2 7 2 】

図 3 0 の場合と同様の線状電子ビーム 3 6 1 を用いた場合には、測定される電流量は、電子ビームがそれぞれの配線部分に照射された場合に生じる電流値の合計となる。

【 0 2 7 3 】

良品では、a でパターンが存在するのに対して、不良品ではパターンが無いので、電子ビームが a に差し掛かったときに既に電流波形の差が生じる。b の位置でも不良品には、パターンが無いので、観測される電流波形は良品と比較して小さくなる。

【 0 2 7 4 】

このように、配線幅の異なった配線が軸対称に存在する場合には、それらを同時検査しても、良品チップと不良品チップの間では波形に差が生じる為、不良を検出できる。この場合不良が検出された位置座標 a を記憶装置に記録する。

【0 2 7 5】

図 3 2 は幅の異なった配線が、ばらばらに存在する場合の検査例を示した第 1 2 の実施例を示している。

【0 2 7 6】

この場合パターン欠陥 3 7 2 が不良である。線状の電子ビーム 3 7 1 を用いて走査を行った場合、図から明らかなように位置 b の電流変化量が良品チップのものと不良品チップで異なる。この差を検出する事によって不良が検出される。不良検出位置 b を記憶装置に記憶する。

【0 2 7 7】

電子ビームを試料に照射して得られた電流波形を比較する方法には種々の物がある。

【0 2 7 8】

図 3 8 は 1 本の配線検査に対応取得されたパルス 1 個で流れた電流値を 2 つのチップ間で比較する検査方法を開示している。

【0 2 7 9】

第 1、第 2 のチップから取得された電流波形は、一旦第 1 の記憶装置 4 3 1、第 2 の記憶装置 4 3 2 にそれぞれ電子ビーム照射位置情報とともに蓄積される。蓄積された情報は、それぞれパルス積分器 4 3 3、4 3 4 にてパルス一個に流れた電流値に積分される。

【0 2 8 0】

その値を積分値比較装置 4 3 5 にて比較する。判定用データベース 4 3 7 に蓄積された情報と照らし合わせ、不良判定装置 4 3 6 にて良不良判定を行う。

【0 2 8 1】

不良と判定された波形に対応する位置座標が不良位置記憶装置 4 3 8 に記憶される。

【0 2 8 2】

その記憶された情報は位置情報出力装置 4 3 9 にてディスプレイ、プリンター、ネットワーク等に出力される。

【0 2 8 3】

図 3 9 は検査フローチャートを示している。

【 0 2 8 4 】

本発明では、CAD等の位置座標を利用しないので、検査に利用される電子ビームは必ずしも配線に完全に照射されるとは限らない。

【 0 2 8 5 】

図 3 3 は 1 つの配線を完全に電子ビームが通過するカバレッジ 1 0 0 % の場合と、半分の領域だけ通過したカバレッジ 5 0 % の場合を示している。

【 0 2 8 6 】

特定のサイズを持つ良品コンタクト配線を流れる電流量は一定である。測定された電流波形から 1 つの配線に対応するパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れる電流の総量とパルスの幅から電子ビームが良品コンタクト配線のどの領域を通過したかを知る事が出来る。

【 0 2 8 7 】

図 4 0, 4 1 はその装置および手順を示している。

【 0 2 8 8 】

先ず測定された電流波形に属する 1 つのパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れた電流量をパルス積分器 4 5 1 にて積分して 1 パルス間に流れた総電流量を求める。同時に、パルス幅検出器 4 5 2 を用いて配線横断距離 L を求める。次いで割り算器 4 5 3 を用いて、総電流量を配線横断距離 L で割る。

【 0 2 8 9 】

この演算によって配線幅に無関係である単位面積あたりに流れる電流値が得られる。この値と予め求められている判定用データベース 4 5 5 に貯えられている基準値とを比較しその大きさの違いより良品と不良品を求める。

【 0 2 9 0 】

不良品が検出された場合は、パルスの位置を記憶装置 4 5 6 に記録する。

【 0 2 9 1 】

ここで用いる基準値は良品配線の示す単位面積当たりの電流量である。従って、その値としては、同一工程を経た他のウェハーのチップの配線が示す値や、テストパターンなどで得られたデータ、あるいはシミュレーション等を行って推測

した値を利用する。

【0292】

特に、本実施例では、別のウェハー由来の基準値を利用するので、プロセス開発当初のウェハー内部での良品率が著しく低いときなどに利用する。

【0293】

図42、43は同一基板上にある複数のチップを用いて比較検査を行う例を示している。

【0294】

これらは、生産がある程度安定している量産工場等で利用する。前実施例と同じように、先ず、第1、第2の被検査試料に電子ビームを照射して得られる電流波形をそれぞれ第1の記憶装置、第2の記憶装置に記憶する。

【0295】

次に、測定された電流波形に属する1つのパルスの立ち上がりから立ち下がりまでに流れた電流量を積分して1パルス間に流れた総電流量を求める。

【0296】

次いで配線横断距離 $L$ と等しいパルス波形の立ち上がりから立ち下がりまでの幅 $L$ で割る。この演算によって配線幅に無関係な第1の配線単位面積あたりに流れる電流値が得られる。

【0297】

同様に第2の被検査試料に関しても検査を行い第2の配線単位面積当たりの電流量を求める。

【0298】

それぞれの値を記憶装置477、478に記憶したのち、お互いの値を割り算器479にて割り算を行い基準値と比較する。この基準値はチップ間で許容される差を定義している。

【0299】

比較結果が大きい場合は、その位置に不良が存在するので、座標を記憶するとともに、ディスプレイ、プリンターあるいはネットワークなどの出力装置に座標情報を出力する。

【 0 3 0 0 】

図 4 4 は第 8 の実施例のように細い電子ビームを利用して検査を行う場合に、検査速度を飛躍的に向上させる走査方法を開示している。

【 0 3 0 1 】

本実施例は、電子ビーム走査はウェハー位置を定める X Y ステージ 1 9 1 の主走査とともに、副走査用偏向装置 1 9 2 による副走査を同時に行う事によって行うことに特徴がある。

【 0 3 0 2 】

主走査は X Y ステージの移動によって行われるので、現在の技術では 1 m / 秒を超えるスピードで安定移動する事は困難である。

【 0 3 0 3 】

電流測定検査法は大変高速なので、電子ビーム走査速度が検査速度上限を決定する。そこで、実質的に走査速度が向上するように、主走査を行うと同時に、主走査方向に垂直な方向に高速に副走査を行う。

副走査は電子ビーム偏向によって行われる為、X Y ステージの移動速度の何万倍も速い。

【 0 3 0 4 】

小さな副走査距離の場合には、電子ビームの入射角度は実質的に垂直であり、検査に影響しない為、通常の電子ビーム偏向器を利用する。大振幅の副走査を行う場合には、ビームを平行移動させるビームシフターを利用する。

【 0 3 0 5 】

図 4 5 は走査軌跡を示している。本手法では主走査がゆっくり一定方向に進行する間に一定幅で高速に往復する副走査を同時に行う。副走査は、主走査方向に、測定対象配線の幅に相当する間隔で平行に成るように行う。この様にすると、主走査の速度に副走査の速度を掛けた速度と同じ速度で走査を行っているのと同じになり、検査速度を飛躍的に向上できる。

【 0 3 0 6 】

図 4 6、4 7 は、SOC デバイス等、ランダムロジックと共にメモリー等のコンタクト配線が等間隔で長距離に渡って配置されているアレイ領域を含むデバイス



において、レイアウト情報を与えずに、検査試料から自動的にアレイ領域を抽出し、その部分をアレイ特有の別の高速化手法で検査する方法を示している。

【 0 3 0 7 】

先ず、実施例 7 あるいは 8 等で示したように、最初のチップを検査し、全ての検査対象領域の電流波形を取得する。

【 0 3 0 8 】

次に、走査方向に現れる配線の位置を電流波形の立ち上がりおよび立ち下がりから検出し記憶する。次に、配線の位置の空間分布をある特定の区間毎（例えば数十から数百ミクロン）に周波数分析する。このようにすると図 4 8 に表したようなパワースペクトラムの位置依存性が得られる。

【 0 3 0 9 】

お互いに相関の強い場所は、パワーが大きくなりその領域にアレイが存在している事が検出される。逆に相関が 1 よりも小さい領域はランダムロジック領域を示している。

【 0 3 1 0 】

アレイ部には複数配線に同時に電子ビームを照射して不良割合を求める方法を適用して、検査の高速化を行う。

【 0 3 1 1 】

図 4 9、5 0 は取得された電流波形の立ち上がりおよび立ち下がりが配線パターンの縁に対応する事を利用して、配線の良否を判定する方法を示している。

【 0 3 1 2 】

前実施例と同じように、取得した電流波形は検査対象配線の位置情報を有している。まず、第 1 の検査試料を走査して電流波形を取得し、第 1 の検査試料の配線位置を決定する。次に第 2 の検査試料を走査して電流波形を取得し、第 2 の検査試料の配線位置を決定する。

【 0 3 1 3 】

図 4 9 では、良品は T 1 から T 8 まで、周期的に配線が形成されているが、不良品では T 3 のタイミングが良品よりも速い位置にある。

【 0 3 1 4 】

従って、両者の波形の立ち上がりの違いを比較すれば、T 3 に不良が存在する事が分かる。異常の様に測定された配線端位置をお互いに比較し一定以上の位置ずれが存在する場合には、その配線を不良と判定する。同時にその位置を記憶装置に記憶する。

【0 3 1 5】

【発明の効果】 以上詳細に説明したように、本発明に係るコンタクトホール  
の検査装置

あるいは検査方法によれば、以下のような効果を奏する。

【0 3 1 6】

本発明を利用すると、従来試料を破壊して断面を観察するなどして求めていたコンタクトホール底の直径を、非破壊で求める事が出来る。また、補償電流によるコンタクトホール底形状と二次電子像から得られるコンタクトホール開口部の情報を組み合わせる事で、従来のSEMでは試料を断面で割って観察するしか方法の無かったコンタクトホール断面の距離情報が非破壊で測定できる。

【0 3 1 7】

従来コンタクトホール底径を求めるために、コンタクトホールを真っ二つに割る必要があり、かつ、その精度を保証する事は殆ど無理であったが、本発明で開示した長方形形状の電子ビームを用いた距離測定方法を用いれば、容易にコンタクトホール底の径を高精度測定できる。実施例では、コンタクトホールへの応用のみ記したが、例えば、コンタクトホールと同様の構造を持つスルーホール、レジスト、配線、溝の開口判別検査や形状測定に利用できる。同様に、種々のエッチング処理後あるいは洗浄処理後の形状検査や底の状態を検査する事も可能である。

【0 3 1 8】

本発明は非破壊なので、従来のように試料断面をSEM観察しなくても、コンタクトホール底の情報が得られるので、製品を直接測定する事が可能で、モニターウェハーが不要となり、プロセスコストが安く成る。

【0 3 1 9】

また、従来では不可能であったプロセス途中のコンタクトホール底の面積、あ

るいは直径が高速にかつアナログ的に測定できるので、プロセス改良をその場で進める事ができる。例えば、エッチングの条件出しを行う場合、開口形状とともにコンタクトホール底の形状を制御する必要があるが、本方法を用いれば、その場でウエハー全体でのコンタクトホール底面積の分布が測定できる。

【0 3 2 0】

また、作製されたコンタクトホール底径の値が常にモニターできるので、従来は、コンタクトホール開口不良を開口の有無のみのデジタル的検査しか行われて来なかったため、開口していないときに始めて異常を検出できた。しかし、本手法では、実際にコンタクトホール開口不良が出る遥か以前に、コンタクトホール底径と言うアナログ量の変化として異常を発見可能である。

【0 3 2 1】

そのため、従来よりも早く異常に対する対策がとれる。一括電流法によるコンタクトホール底径の測定では、1つのコンタクトホールに電子ビームが当るように位置が調節できればよいので、低い位置合わせ精度で測定できる。

【0 3 2 2】

電流測定の場合、配線に流れ込んだ電流のみが測定値に寄与するので、従来検査法で必要な、検査結果の平均化等が不要で、検査速度を向上できる。

【0 3 2 3】

電流測定を用いて目合わせするので、目合わせのためだけに高価な二次電子画像取得装置が不要である。本発明を用いるとCADデータを利用しなくてもランダムに配置された配線パターン形成の良否を検査できる。大量のCADデータを装置間でやり取りしないので、大容量記憶装置とCPU間での大量データ転送に伴うトラフィックネックが生じ無いので検査速度を向上できる。

【0 3 2 4】

また、CADデータ記憶装置が不要である。

【0 3 2 5】

配線の配置がランダムであるにも関わらず、複数の配線を同時検査可能であり速度を向上できる。

【0 3 2 6】

電子ビームが通過する位置が配線のどの部分であっても、検査に有効な情報が取得可能であり、必ずしも配線の特定の位置に電子ビームを照射する必要がない。逆に、電子ビーム照射位置を変化する事で不良パターン検出感度が調節できる。また、電子ビーム照射に伴って発生する電流波形の立ち上がり立ち下がりから得られる配線の端位置情報も利用して配線良否検査を行うので、取得電流波形の大きさの変化だけでは検査結果が明瞭に出ない場合にも、検査が可能となる場合がある。

## 【 0 3 2 7 】

一般に、ランダムに配置されている配線の検査よりもアレイ状に配列されている配線の検査の方が高速化できるが、両者は1つのチップ内にて混在している。本発明では、配線の配列を最初の検査に於いて予め調査し、測定された電流の周波数分布から配線がアレイ状に配列されている場所を推定してその情報をもとに最適な検査方法を選択できるので、検査の高速化が可能である。

本実施例で開示している電子ビームの形状は線状の場合が示されているが、その長さや形状は目的に応じて円形や楕円、正方形など変化させても同様の効果が得られる。また、電子ビームが照射される領域は必ずしも連続的である必要はない。

## 【 0 3 2 8 】

ビームの照度は同時にビーム照射を受ける領域中では一定である事が望ましいが、ビーム強度がある一定以上であれば、本発明による検査が可能である。より精密に測定を行う為には、ビームの照度分布が分かっている事が望ましい。

電子ビーム照射位置測定装置として実施例では光学式の装置を利用しているが、其の外の電磁波を用いた方法、電気抵抗を用いた方法、容量を用いた方法あるいは量子力学的な方法など距離に応じて変化する物理量を検出する事を原理とする他の装置を利用してもよい。

## 【 0 3 2 9 】

電子ビームは連続的に照射されるばかりでなく、間欠的に行っても良い。電子ビーム副走査を行う事によって実効的な走査速度を向上させる為、検査速度の向上効果がある。走査される電子ビームは必ずしも異なった位置を走査する必要がある。

無く、端の領域を少し重ねて走査してもよい。加速電圧、注入電流は試料によって最適な物を適宜選択して利用する。パターン欠陥が部分的である場合にも、欠陥面積に比例した電流が検出される為、欠陥面積が発生する電流変化が、検査装置の S N 以上であれば、欠陥として検出される。検査対象となる配線材料は、層間膜と二次電子放出比が異なっていれば常に検査可能である。

【 0 3 3 0 】

本発明の電流法では、検査対象の配線が基板との間に何らかの接続が取れている場合に、有効であるが、配線が大きな流域面積を持っている場合や、リーク電流が大きい場合、あるいは大きな容量を介して基板と電氣的に接続されている場合にも検査が出来る。複数の配線を同時に検査できるので、従来法に比較して高速に検査できる。

【 0 3 3 1 】

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 本発明の電子ビーム発生装置を示した図である。
- 【図 2】 本発明の電子ビーム発生装置を示した図である。
- 【図 3】 本発明の測定例である。
- 【図 4】 本発明の測定例である。
- 【図 5】 本発明の測定例である。
- 【図 6】 コンタクトホール面積と補償電流の関係を示した図。
- 【図 7】 コンタクトホール底径と補償電流の関係を示した図。
- 【図 8】 本発明の測定例である。
- 【図 9】 本発明の測定例である。
- 【図 1 0】 本発明の測定例である。
- 【図 1 1】 本発明の量産現場への適用例である。
- 【図 1 2】 本発明の測定例である。
- 【図 1 3】 本発明の測定例である。
- 【図 1 4】 本発明の測定例である。
- 【図 1 5】 本発明の測定例である。
- 【図 1 6】 本発明の測定例である。

- 【図 1 7】 本発明の測定例である。
- 【図 1 8】 本発明の測定例である。
- 【図 1 9】 本発明の測定例である。
- 【図 2 0】 本発明の測定例である。
- 【図 2 1】 本発明の測定例である。
- 【図 2 2】 本発明の測定例である。
- 【図 2 3】 本発明の測定例である。
- 【図 2 4】 従来例である。
- 【図 2 5】 従来例である。
- 【図 2 6】 本発明の実施例
- 【図 2 7】 本発明の実施例
- 【図 2 8】 本発明の実施例
- 【図 2 9】 本発明の実施例
- 【図 3 0】 本発明の実施例
- 【図 3 1】 本発明の実施例
- 【図 3 2】 本発明の実施例
- 【図 3 3】 本発明の実施例
- 【図 3 4】 本発明の実施例
- 【図 3 5】 本発明の実施例
- 【図 3 6】 本発明の実施例
- 【図 3 7】 本発明の実施例
- 【図 3 8】 本発明の実施例
- 【図 3 9】 本発明の実施例
- 【図 4 0】 本発明の実施例
- 【図 4 1】 本発明の実施例
- 【図 4 2】 本発明の実施例
- 【図 4 3】 本発明の実施例
- 【図 4 4】 本発明の実施例
- 【図 4 5】 本発明の実施例

【図 4 6】 本発明の実施例

【図 4 7】 本発明の実施例

【図 4 8】 本発明の実施例

【図 4 9】 本発明の実施例

【図 5 0】 本発明の実施

【符号の説明】

- 1 電子銃
- 2 コンデンサレンズ
- 3 電子ビーム
- 4 アパチャー
- 5 試料
- 6 アース
- 7 電極
- 8 移動距離測定装置
- 9 電流計
- 2 1 電子銃
- 2 2 第 1 コンデンサレンズ
- 2 3 第 2 コンデンサレンズ
- 2 4 電子ビーム
- 2 5 対物レンズ
- 2 6 試料
- 2 7 アパチャー
- 3 1 開口部
- 3 2 遮蔽部
- 4 1 電子ビーム
- 4 2 コンタクトホール

- 4 3 酸化膜
- 4 4 シリコン基板
- 4 5 電流計
- 4 6 支持基板表面
- 4 7 コンタクトホール底
- 4 8 コンタクトホール底径
- 5 0 コンタクトホール底径
- 5 1 電子ビーム
- 5 2 コンタクトホール
- 5 3 開口部
- 5 4 酸化膜
- 5 5 シリコン基板
- 5 6 電流計
- 5 7 底
- 5 8 コンタクトホール壁
- 8 1 電子ビーム
- 8 2 コンタクトホール底
- 8 3 シリコン基板
- 8 4 電流計
- 8 5 コンタクトホール
- 8 6 酸化膜
- 9 1 電子ビーム
- 9 2
- 9 3 シリコン基板
- 9 4 電流計
- 9 5 コンタクトホール
- 9 6 酸化膜
- 1 0 1 電子ビーム
- 1 0 2 酸化膜



1 0 3    コンタクトホール  
1 0 4    シリコン基板  
1 0 5    電流計  
1 2 1    電子ビーム  
1 2 2    コンタクトホール  
1 2 3    酸化膜  
1 2 4    二次電子  
1 2 5    二次電子検出器  
1 2 6    電流計  
1 2 7    電流計  
1 3 1    電子ビーム  
1 3 2    コンタクトホール  
1 3 3    酸化膜  
1 3 4    二次電子  
1 3 5    二次電子検出器  
1 3 6    電流計  
1 3 7    電流計  
1 4 1    中心線  
1 5 0    壁  
1 5 1    エッジ  
1 5 2    電子ビーム  
1 5 3    二次電子  
1 5 4    コンタクトホール底  
1 5 5    壁  
1 6 1    壁  
1 6 2    エッジ  
1 6 3    コンタクトホール底  
1 6 4    テーパー部  
1 6 5    二次電子検出器

- 1 6 6 二次電子
- 1 7 1 壁
- 1 7 2 エッジ
- 1 7 3 コンタクトホール底
- 1 7 4 逆テーパー面
- 1 7 5 酸化膜
- 1 9 1 ごみ
- 1 9 2 電子ビーム
- 1 9 3 壁
- 1 9 4 底
- 1 9 5 コンタクトホールエッジ
- 2 0 1 壁
- 2 0 2 テーパー部
- 2 0 3 底
- 2 1 0 ごみ
- 2 1 1 電子ビーム
- 2 1 2 壁
- 2 1 3 エッジ
- 2 1 4 コンタクトホール底
- 2 2 1 コンタクトホール（測定領域）
- 2 2 2 電子ビーム
- 2 2 3 底
- 2 2 4 エッジ
- 2 2 5 壁
- 2 2 6 中心線
- 2 2 7 頂点
- 2 2 8 立ち上がり位置
- 2 2 9 最大値
- 2 3 2 測長モード適用領域

- 2 3 3 一括電流モード適用領域
- 2 4 1 コンタクトホール
- 2 4 2 酸化膜
- 2 4 3 下地基板
- 2 4 4 電子ビーム
- 2 4 5 二次電子
- 2 4 6 二次電子検出器
- 2 5 1 コンタクトホール
- 2 5 2 酸化膜
- 2 5 3 下地基板
- 2 5 4 電子ビーム
- 2 5 5 二次電子
- 2 5 6 二次電子検出器
- 3 0 1 第 1 の被検査試料
- 3 0 2 第 2 の被検査試料
- 3 2 1 配線 A
- 3 2 2 配線 B
- 3 2 3 パターン欠陥
- 3 3 1 電子ビーム軌跡
- 3 3 2 走査間隔 L
- 3 3 3 パターン欠陥
- 3 3 4 配線 A
- 3 3 5 配線 B
- 3 4 1 電子ビーム
- 3 4 2 配線 A
- 3 4 3 配線 B
- 3 4 4 配線 C
- 3 4 5 配線 D
- 3 4 6 パターン欠陥

- 3 5 1 電子ビーム
- 3 5 2 電子ビーム
- 3 5 3 配線A
- 3 5 4 配線B
- 3 5 5 配線C
- 3 5 6 配線D
- 3 5 7 パターン欠陥
- 3 6 1 電子ビーム
- 3 6 2 配線A
- 3 6 3 配線B
- 3 6 4 パターン欠陥
- 3 7 1 電子ビーム
- 3 7 2 配線A
- 3 7 3 配線B
- 3 7 4 パターン欠陥
- 3 8 1 電子ビーム走査帯
- 3 8 2 電子ビーム走査帯
- 3 8 3 配線A
- 3 8 4 配線B
- 3 9 1 電子銃
- 3 9 2 電子ビーム
- 3 9 3 ウエハー
- 3 9 4 X Y ステージ
- 3 9 5 電子ビーム照射位置検出装置
- 3 9 6 電極
- 3 9 7 電流アンプ
- 3 9 8 D/A変換器
- 3 9 9 第1記憶装置
- 4 0 0 第2記憶装置

- 4 0 1 波形比較装置
- 4 0 2 不良判定装置
- 4 0 3 判定用データベース
- 4 0 4 不良位置記憶装置
- 4 0 5 不良位置出力装置
- 4 0 6 表示装置
- 4 1 0 点状電子ビーム銃
- 4 1 1 パルス検出器
- 4 1 2 パルス検出器
- 4 1 3 不良位置記憶装置
- 4 5 1 パルス積分器
- 4 5 2 パルス幅検出器
- 4 5 3 割り算装置
- 4 5 4 記憶装置
- 4 5 5 判定用データベース
- 4 5 6 不良位置記憶装置
- 4 7 1 パルス幅検出器
- 4 7 2 パルス積分器
- 4 7 3 パルス積分器
- 4 7 4 パルス幅検出器
- 4 7 5 割り算装置
- 4 7 6 割り算装置
- 4 7 7 記憶装置
- 4 7 8 記憶装置
- 4 7 9 割り算装置
- 4 8 0 不良判定装置
- 4 8 1 判定用データベース
- 4 9 1 X Y ステージ
- 4 9 2 副走査用偏向装置

特平 1 1 - 3 1 5 3 2 0

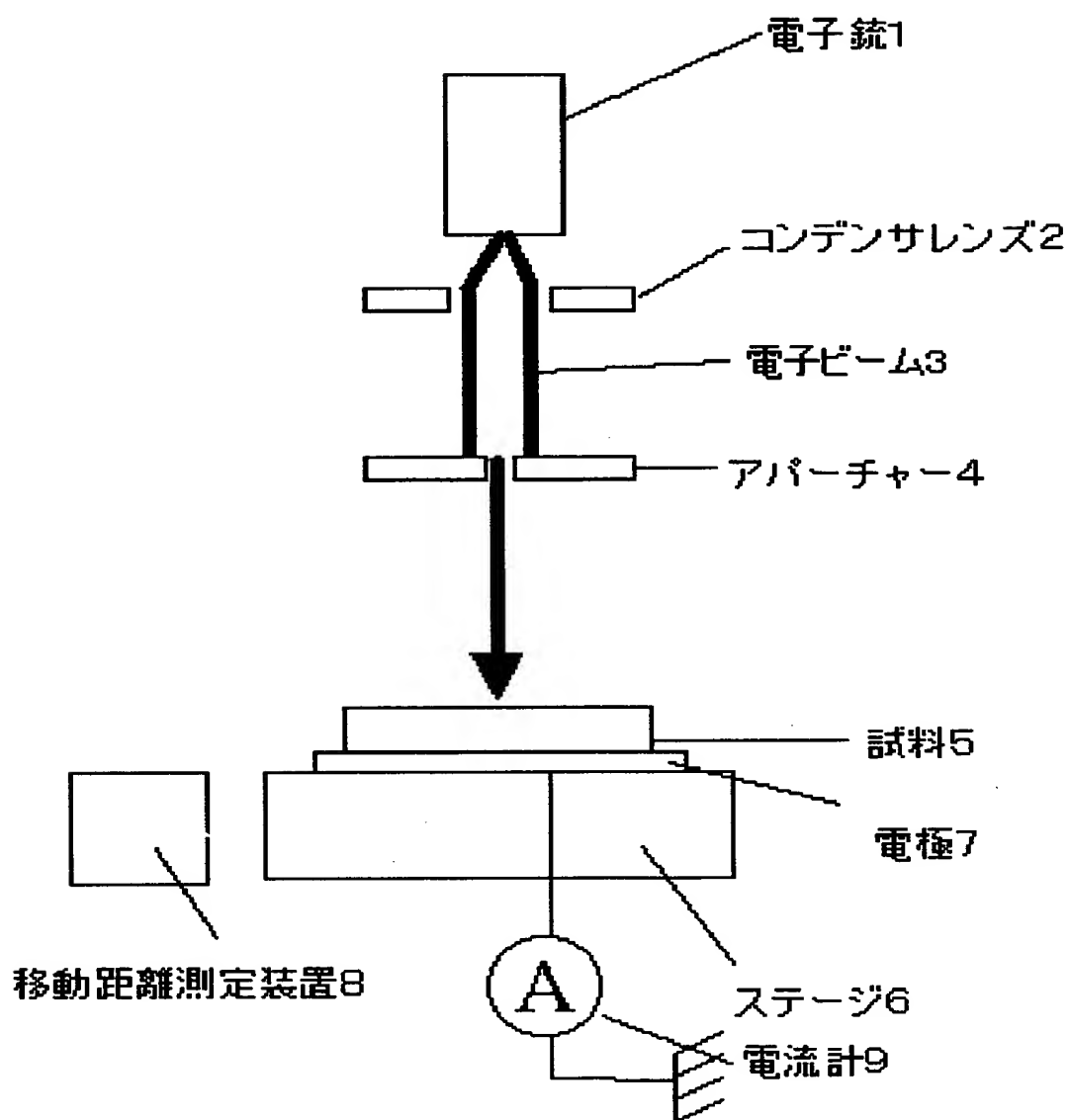
5 0 0 配線

5 0 1 主走査幅 W

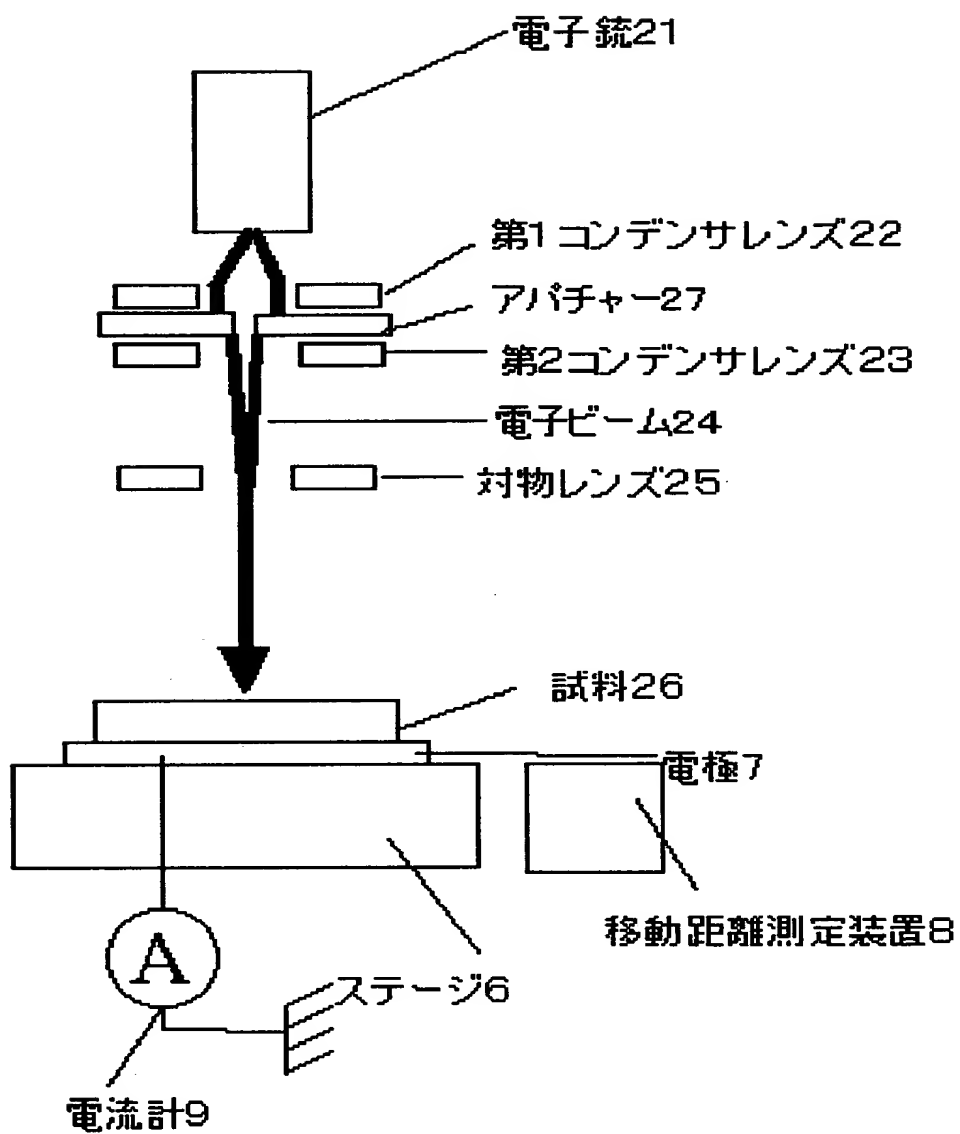
5 0 2 副走査幅 L

【書類名】 図面

【図 1】

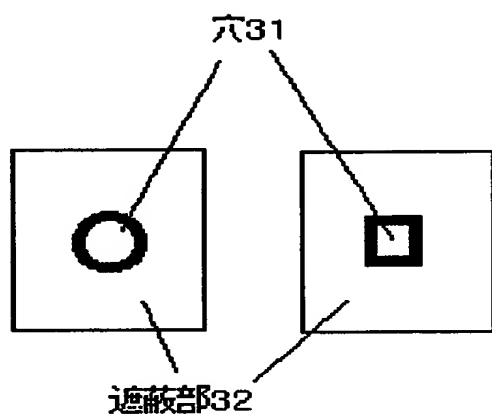


【図 2】

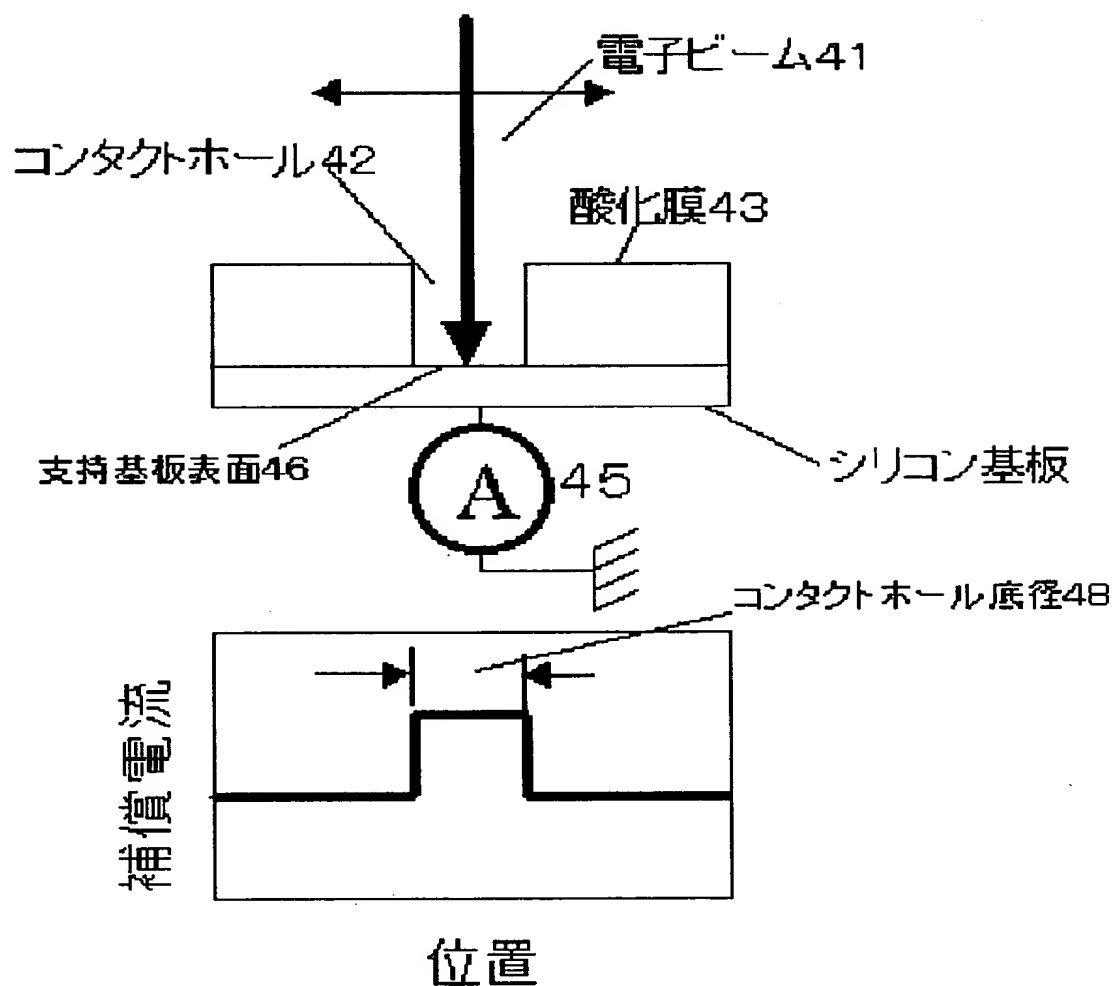




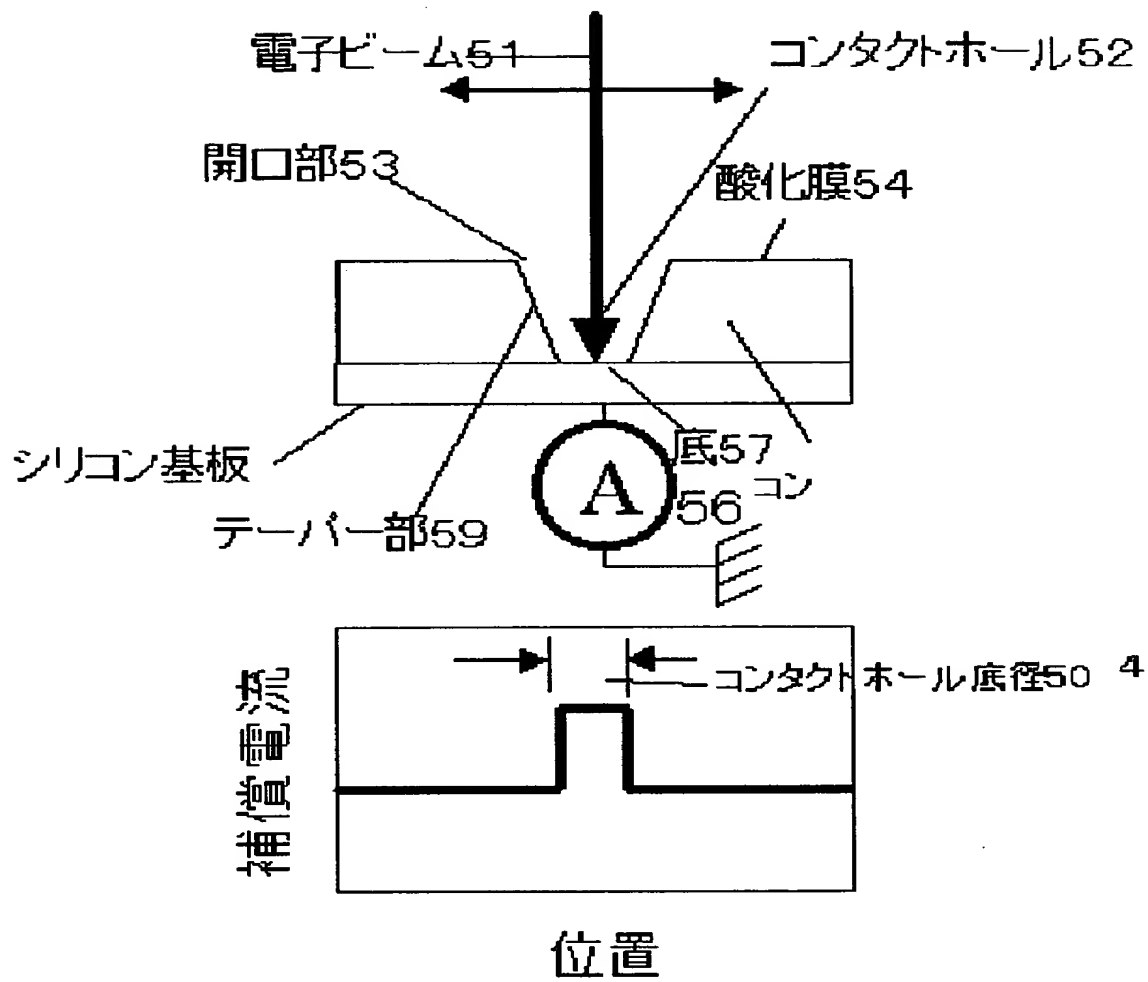
【図 3】



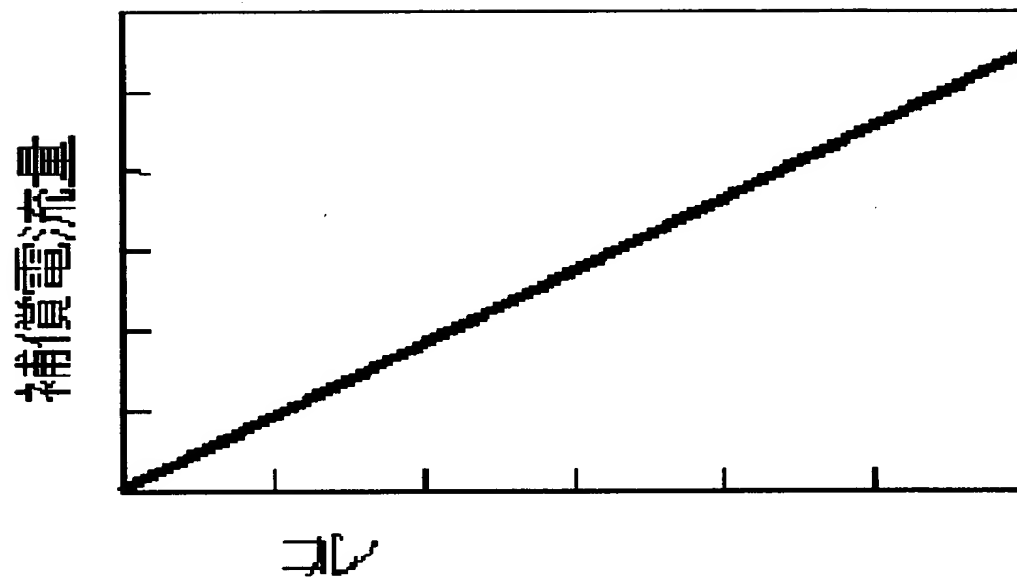
【図 4】



【図 5】

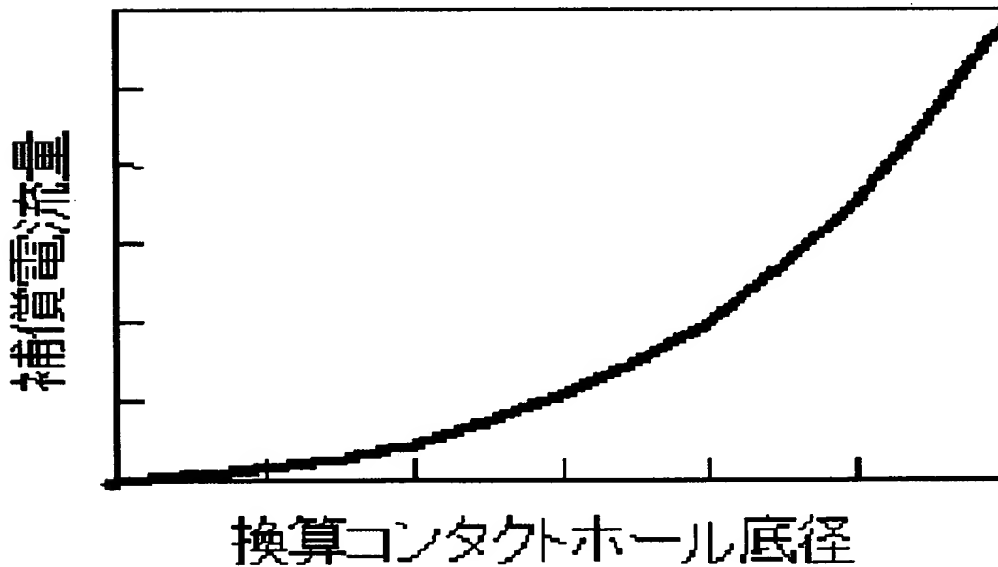


【図 6】



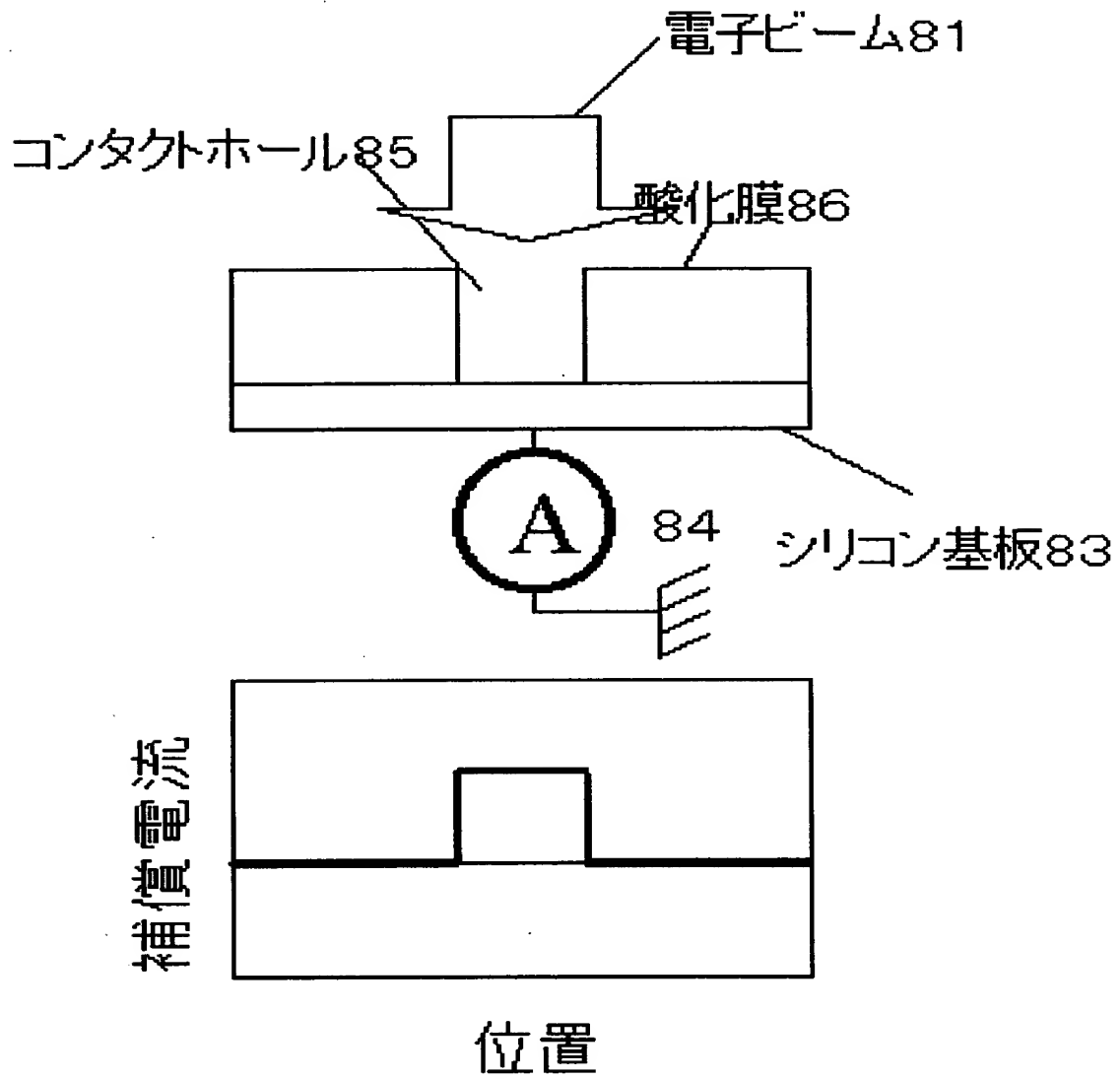
コンタクトホール底面積と貫通電流量の関係

【図 7】

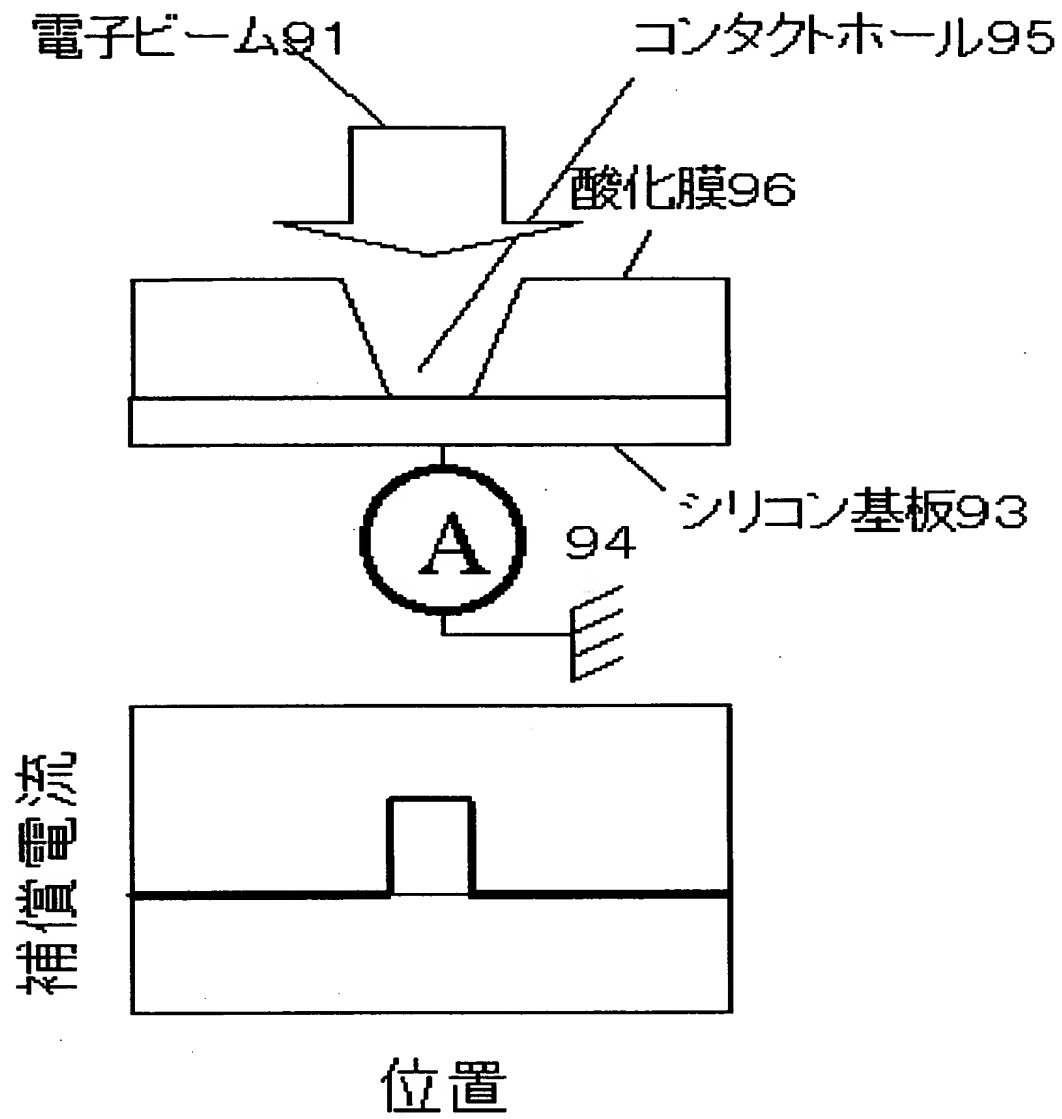


換算コンタクトホール底径と貫通電流量の関係

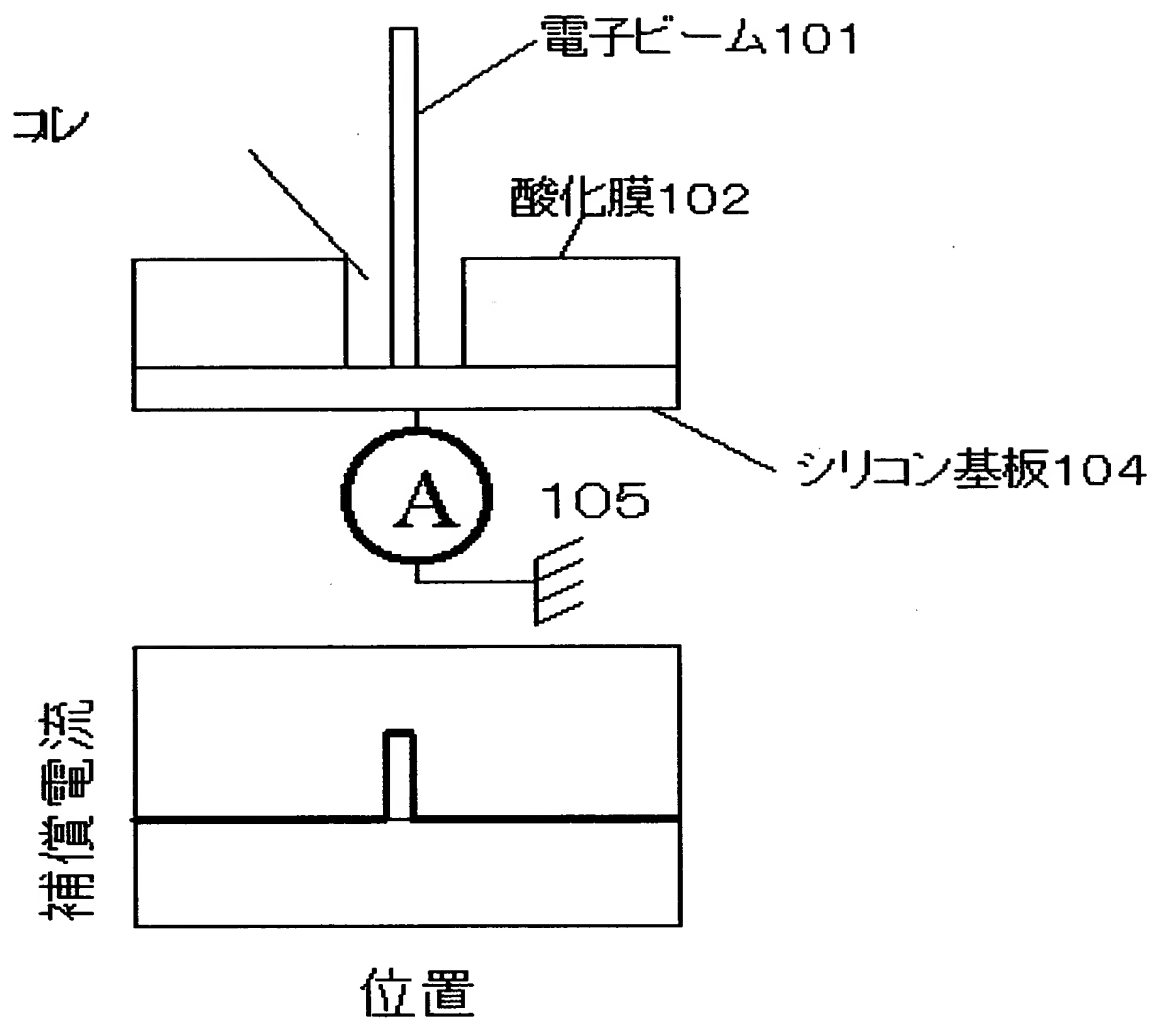
【図 8】



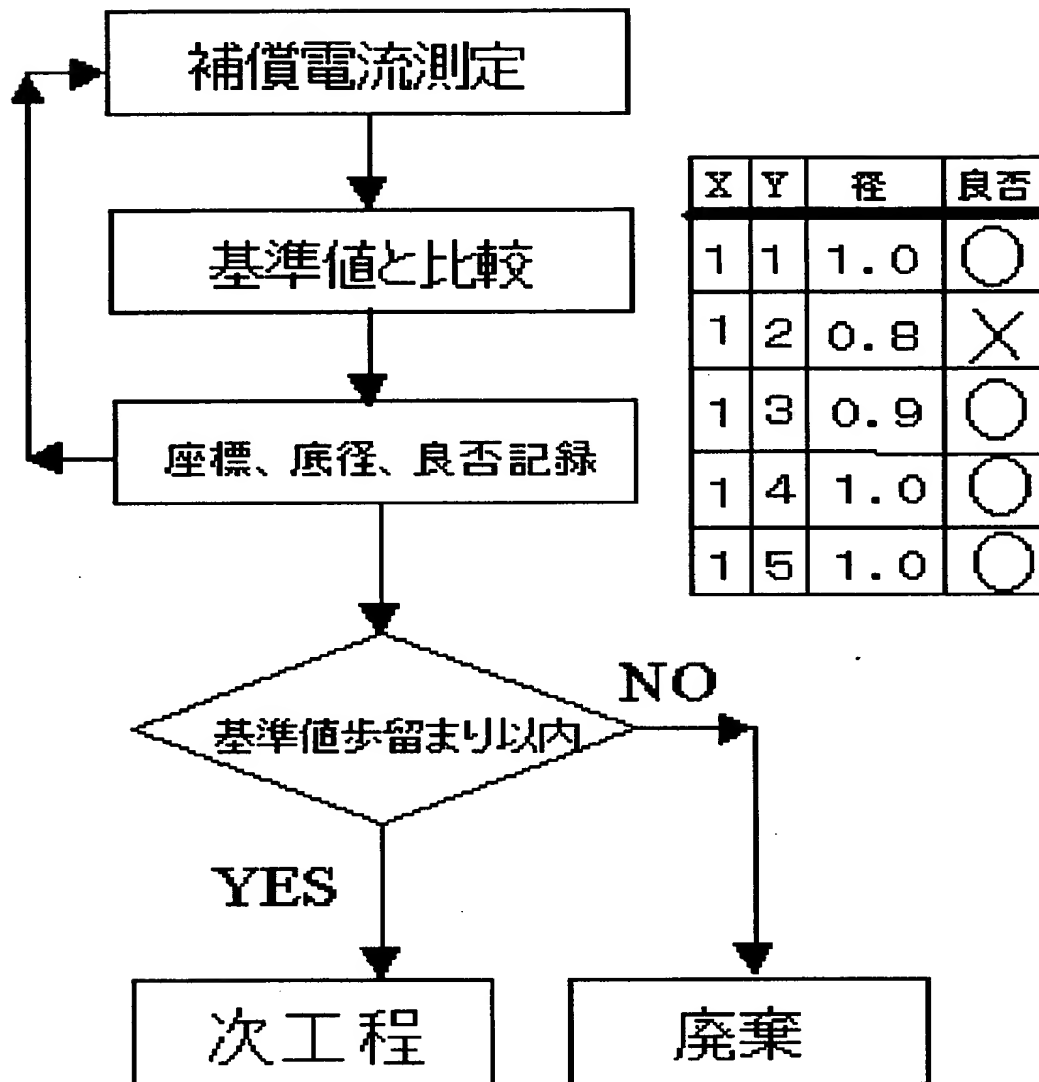
【図9】



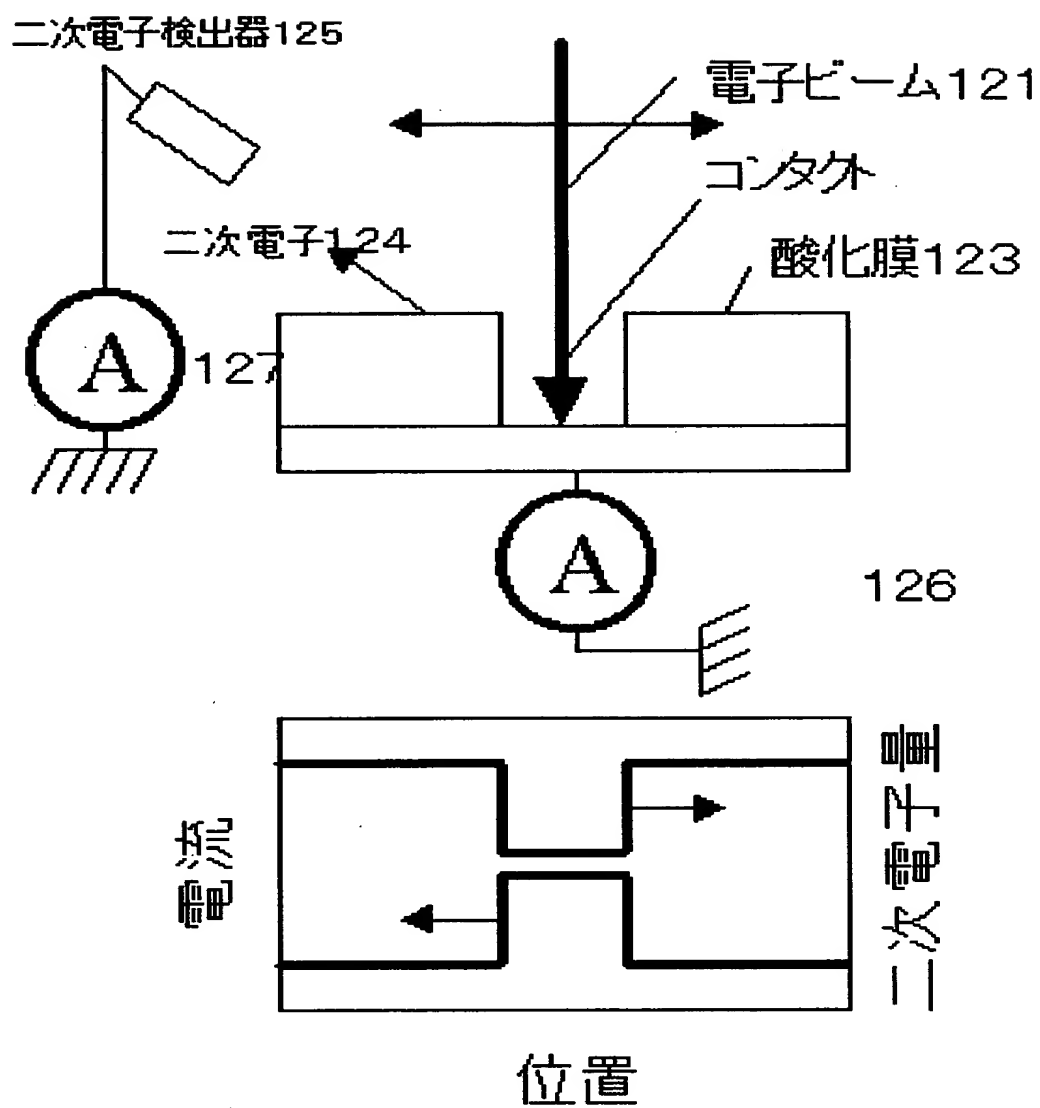
【図 1 0】



【図 1 1】

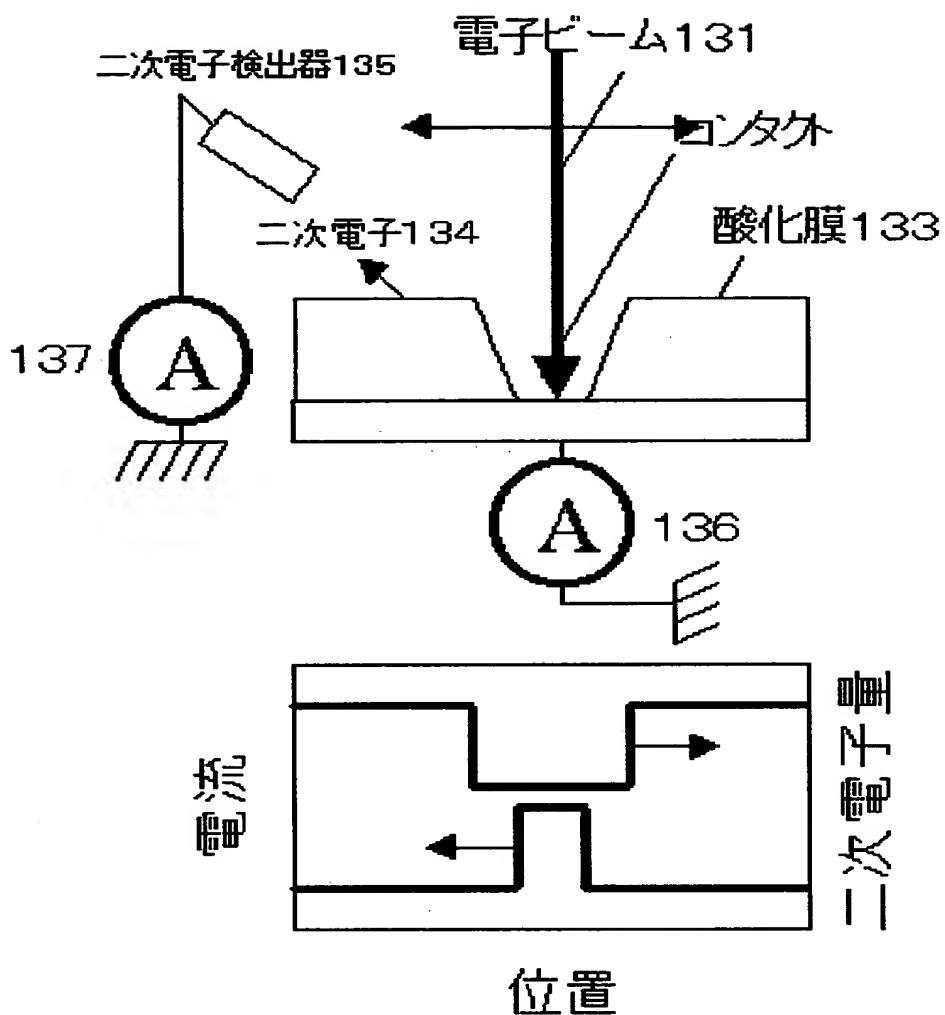


【図 1 2】

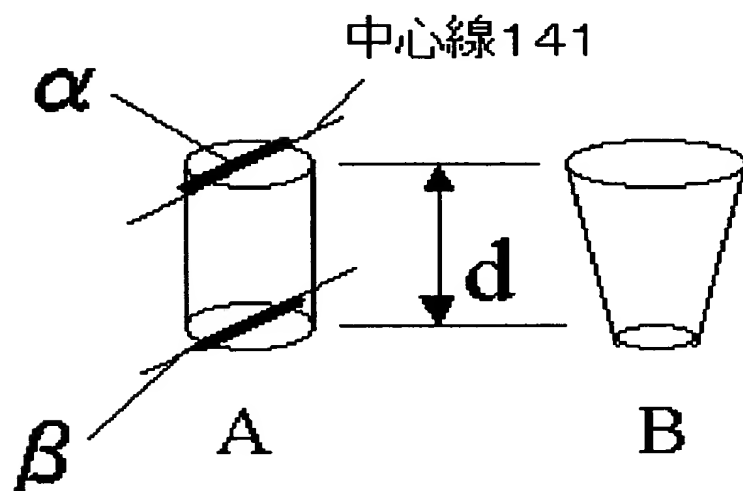




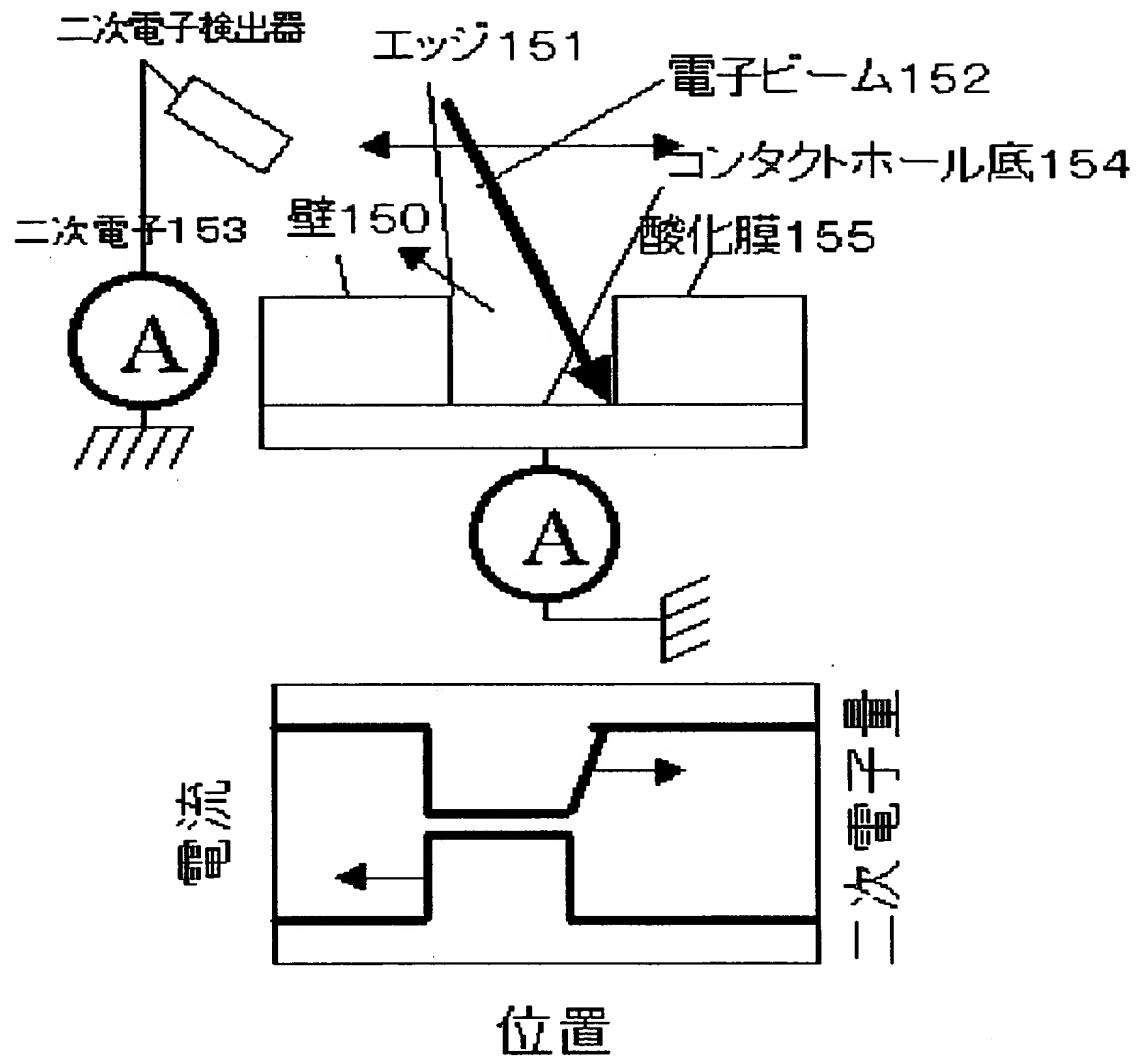
【図 13】



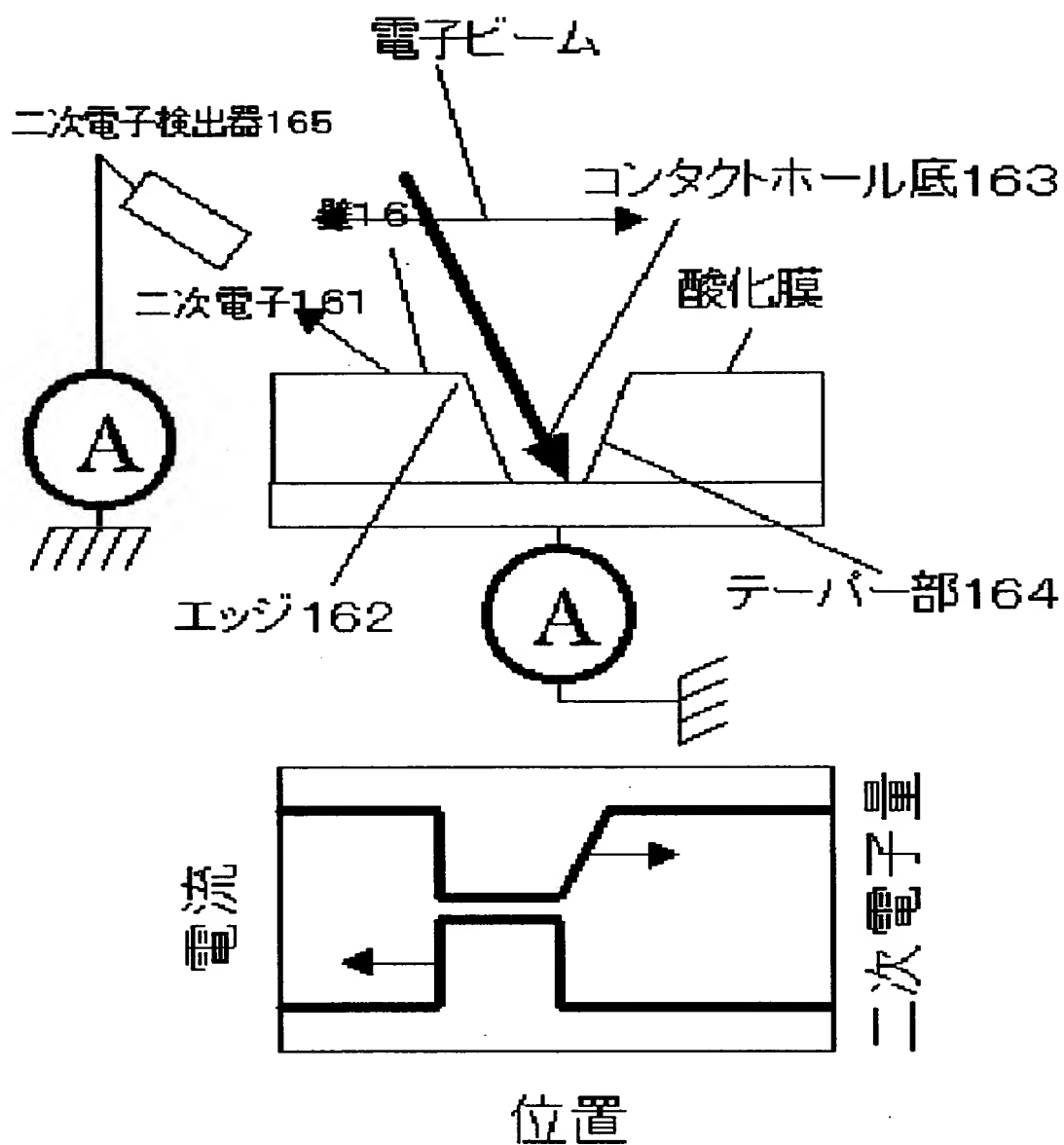
【図 14】



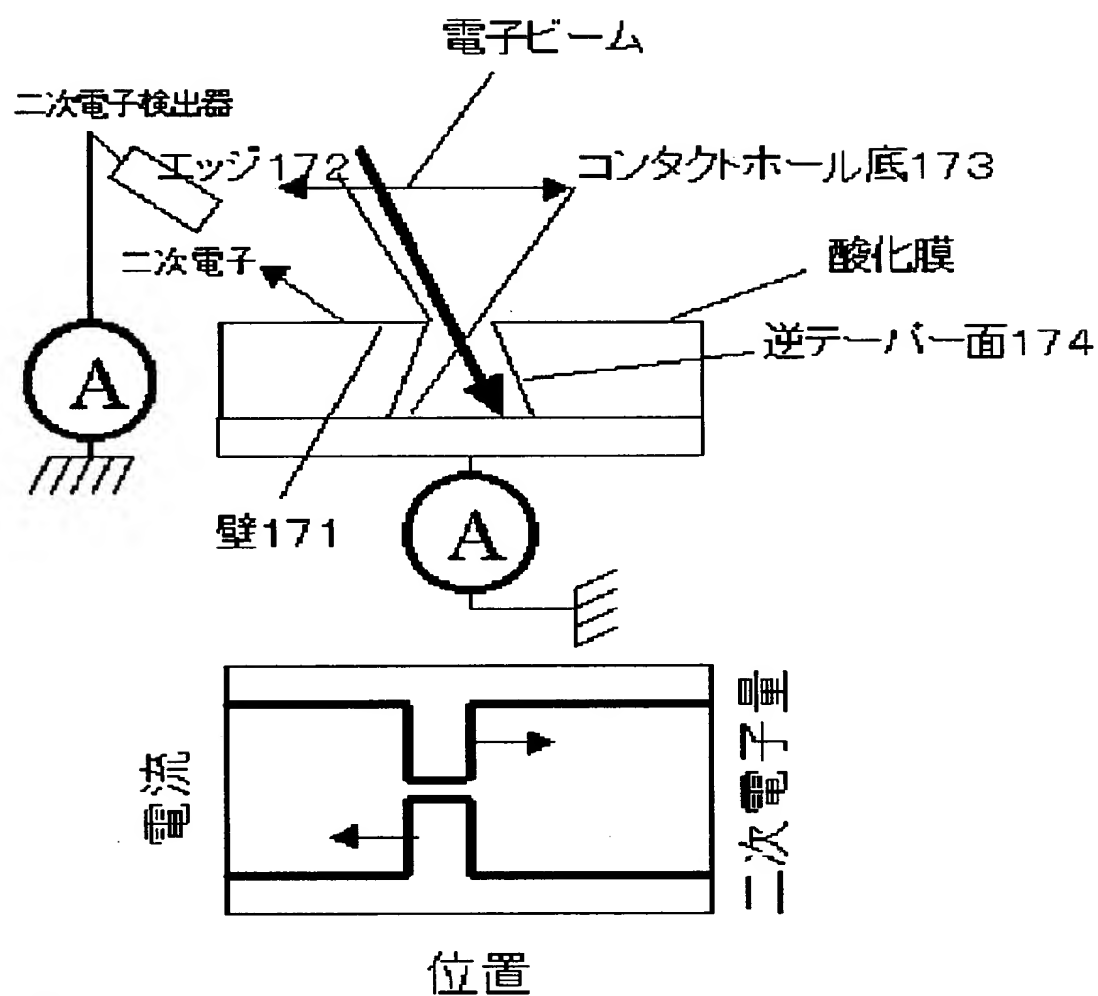
【図 15】



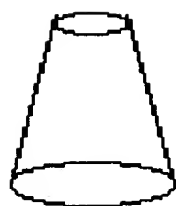
【図 16】



【図 1 7】

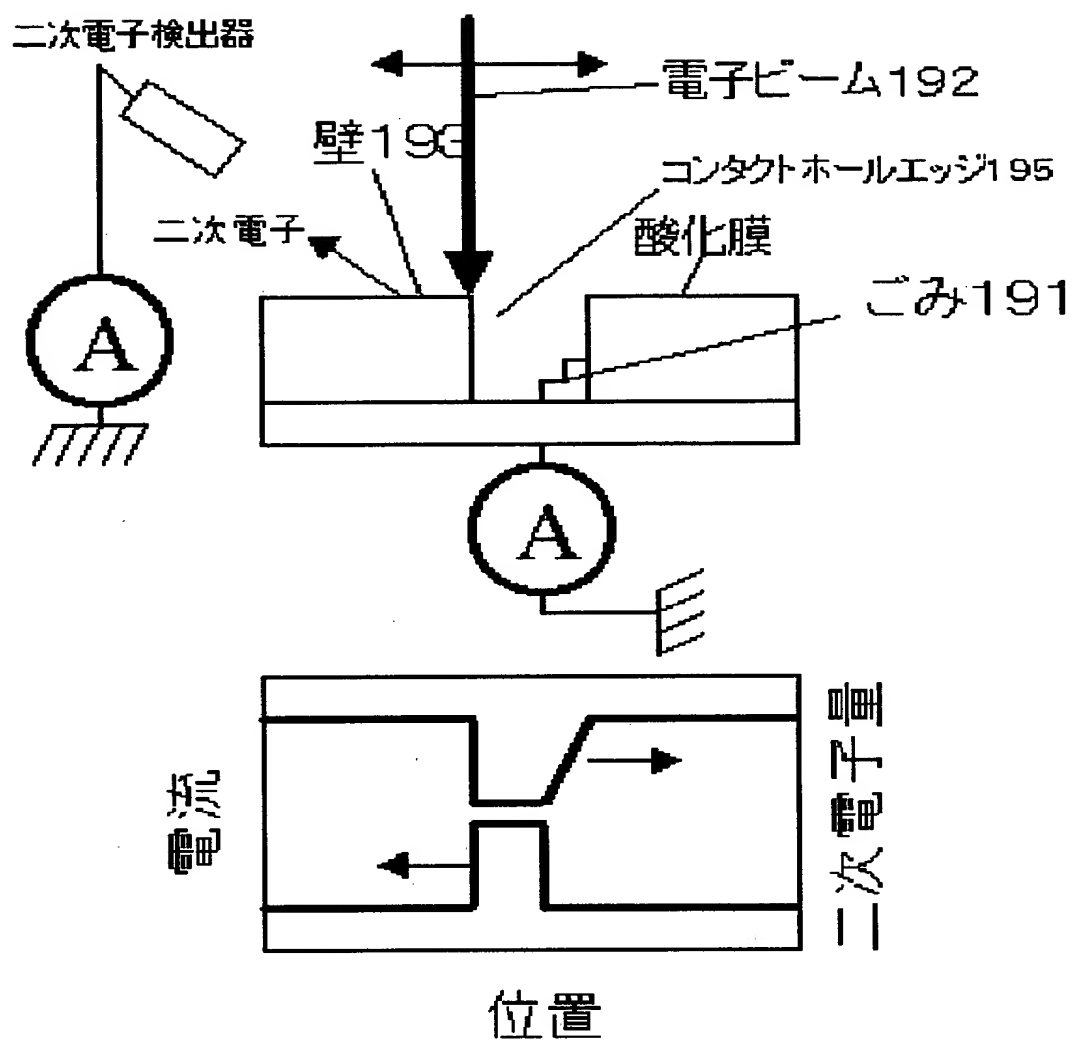


【図 1 8】

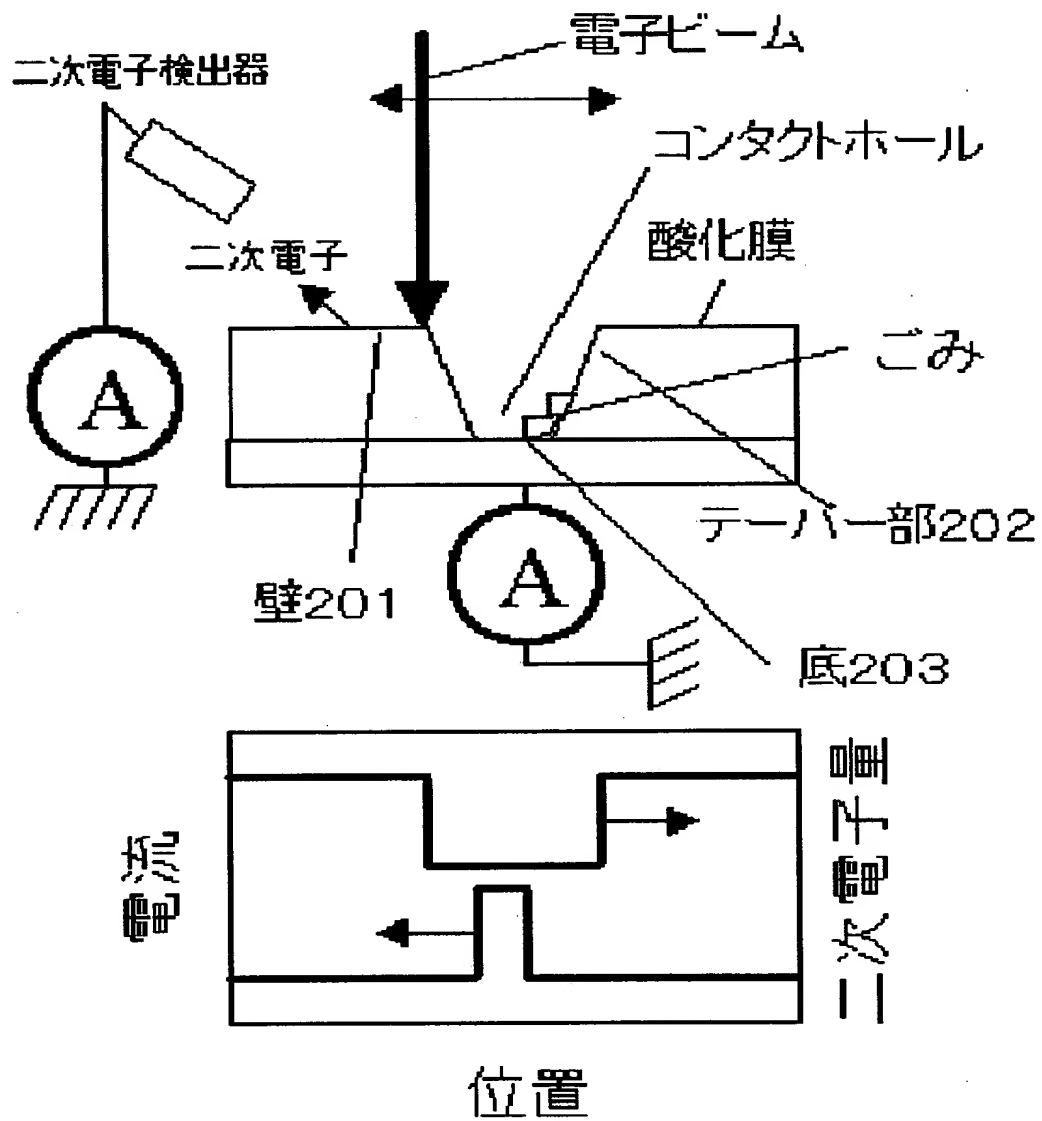


復元図

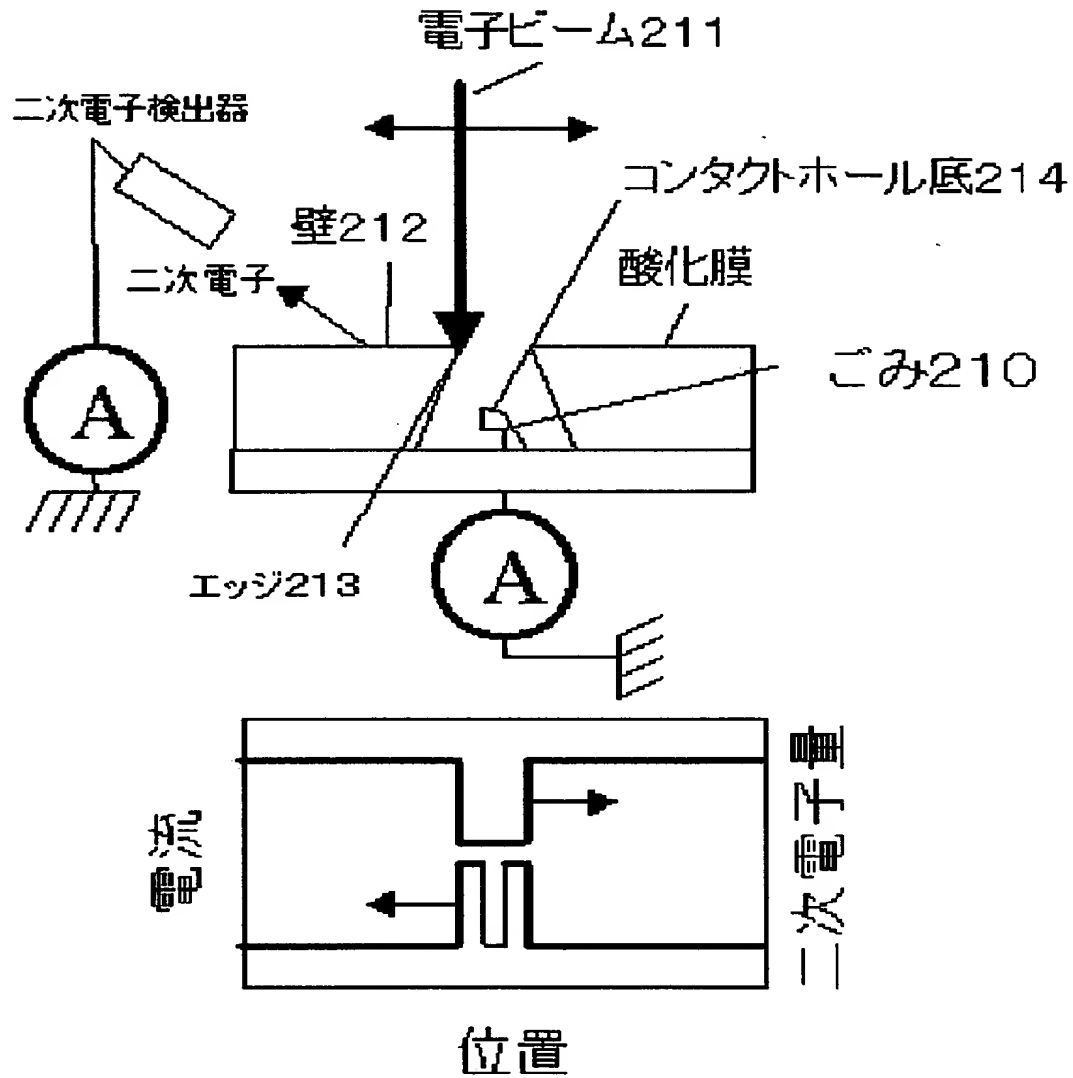
【図 1 9】



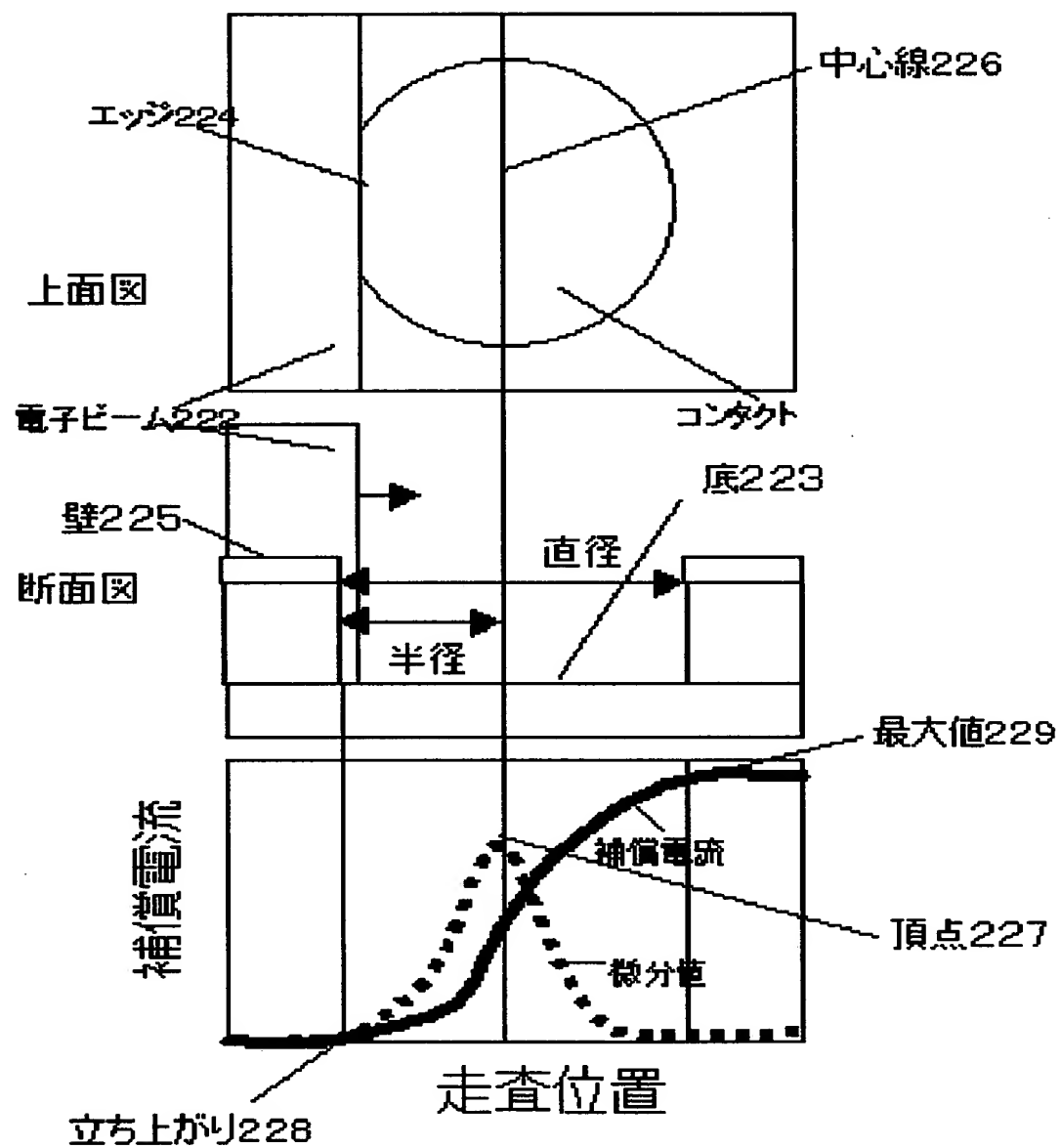
【図 20】



【図 2 1】

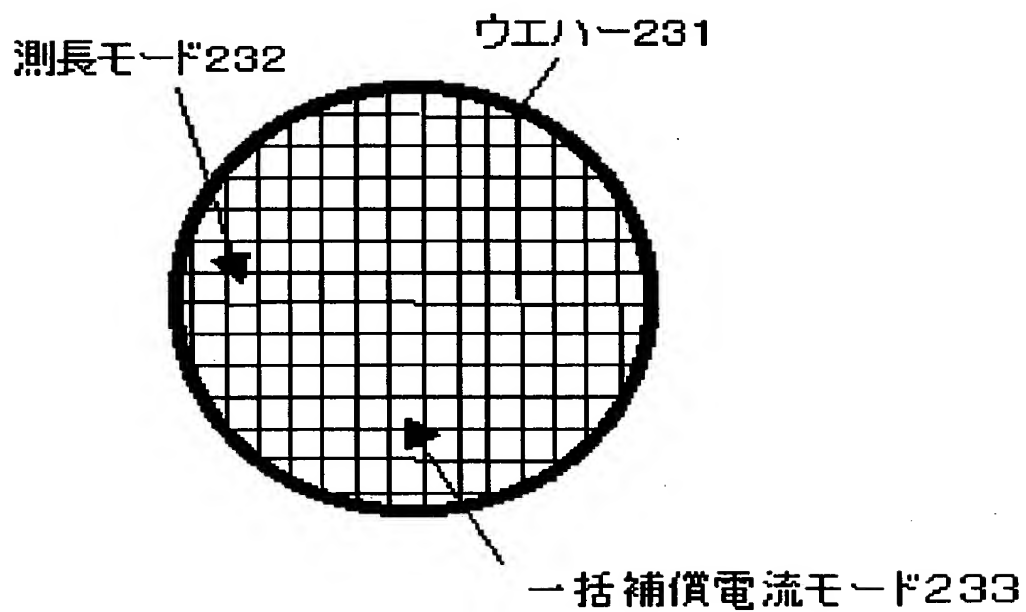
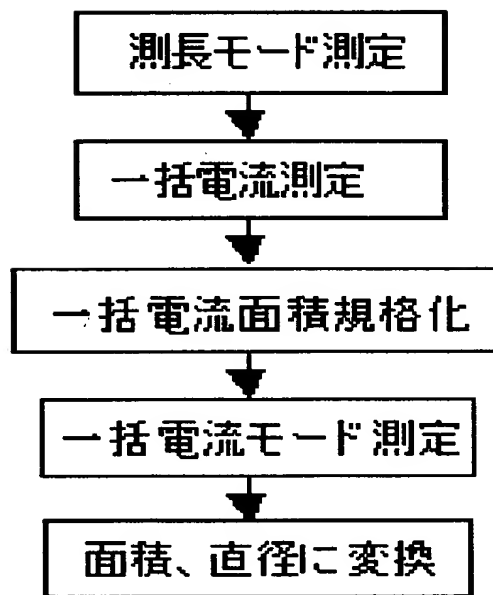


【図 22】

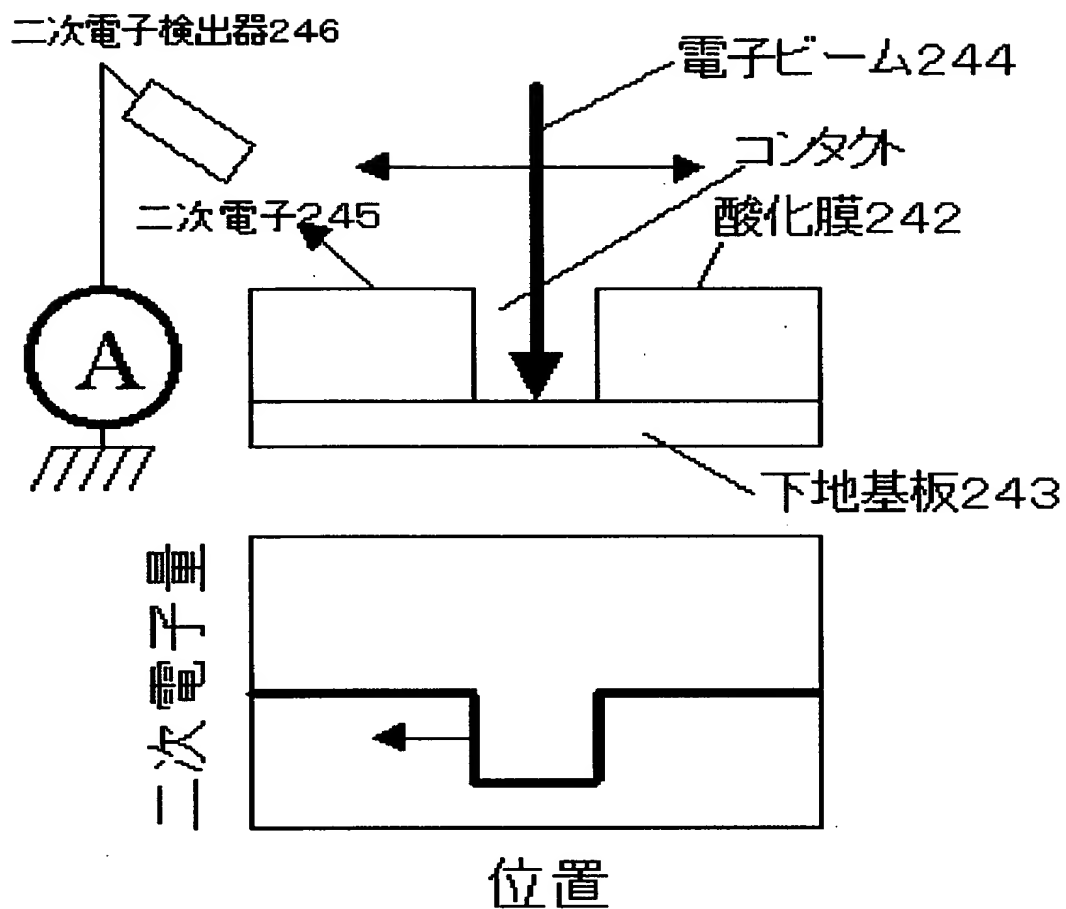




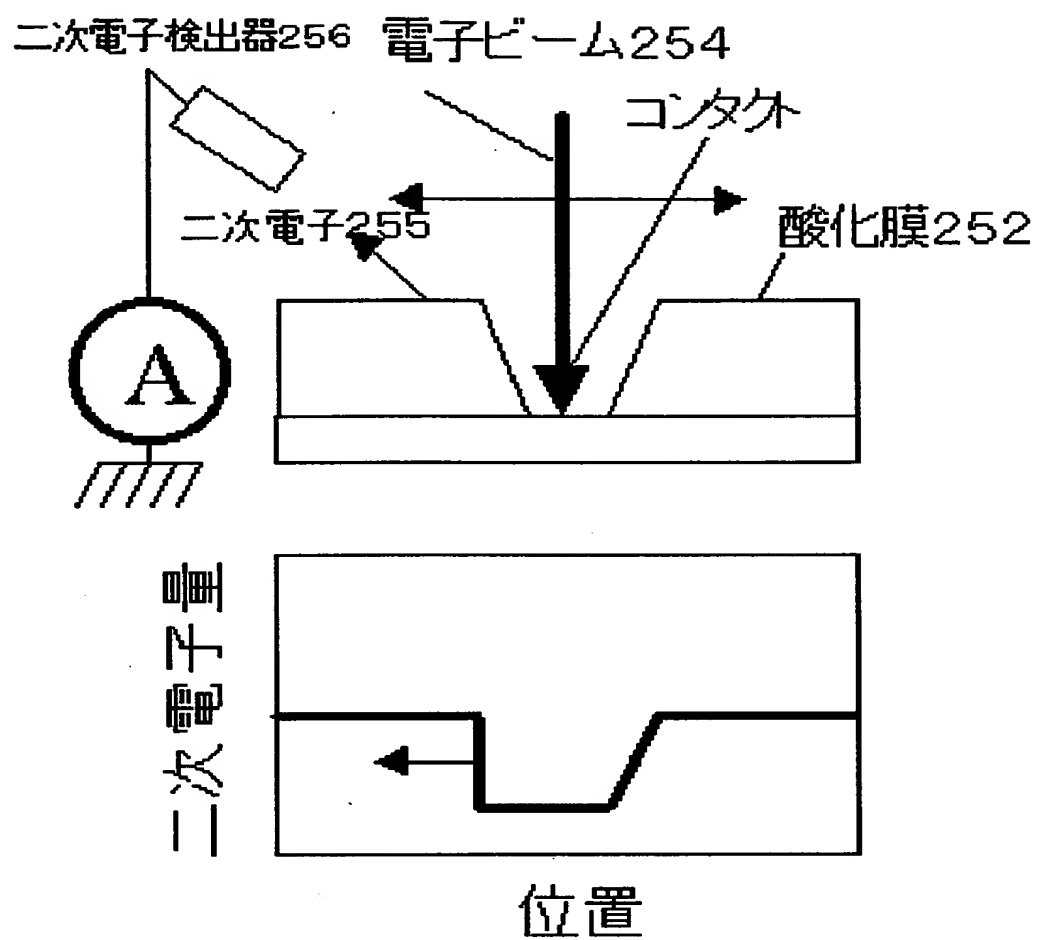
【図 2 3】



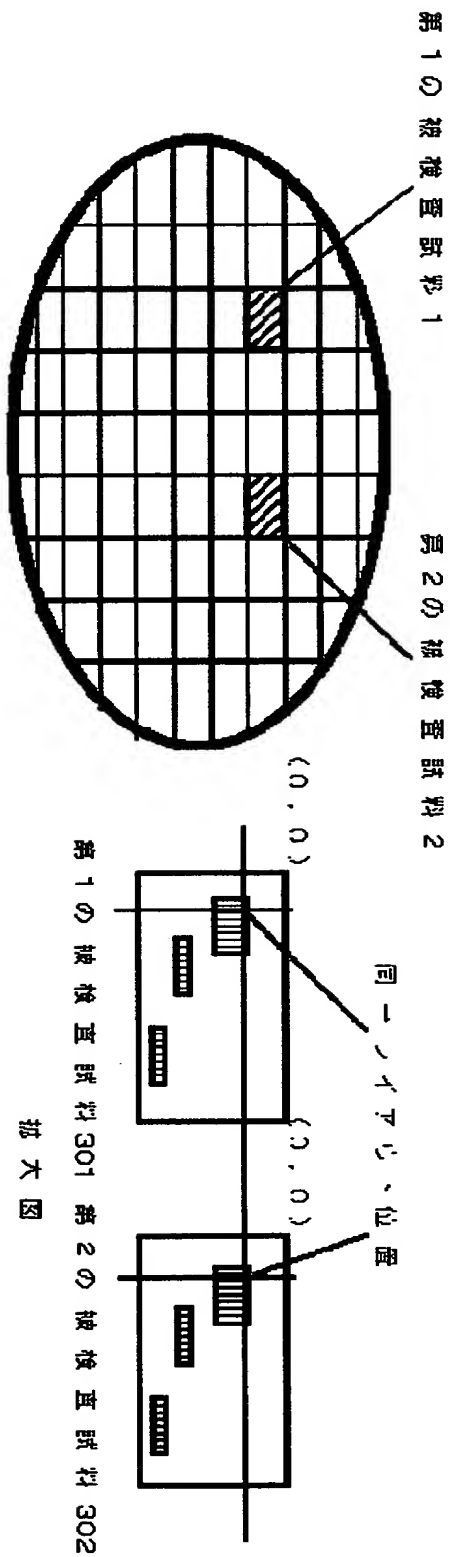
【図 2 4】



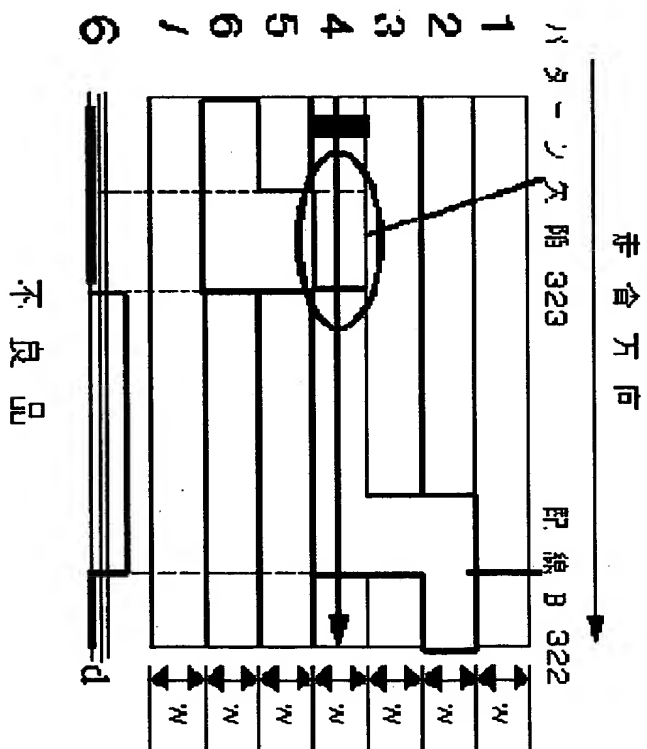
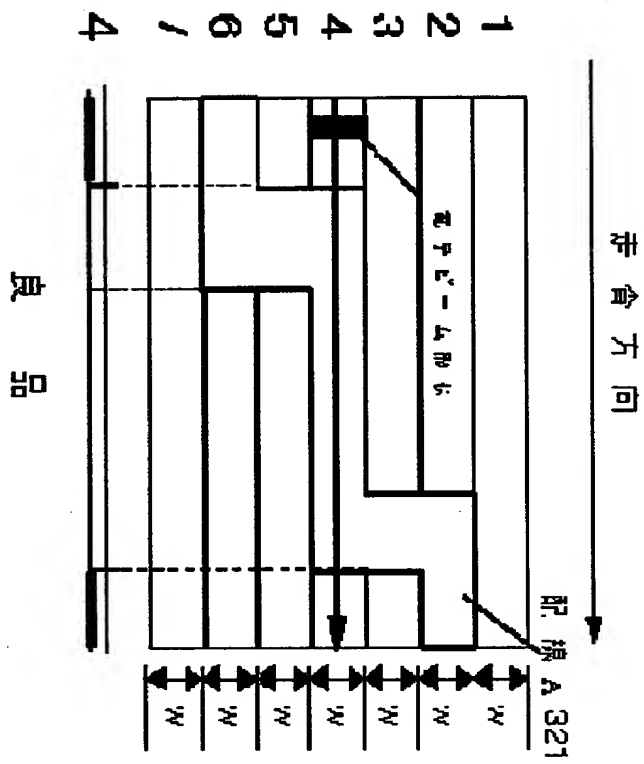
【図 2 5】



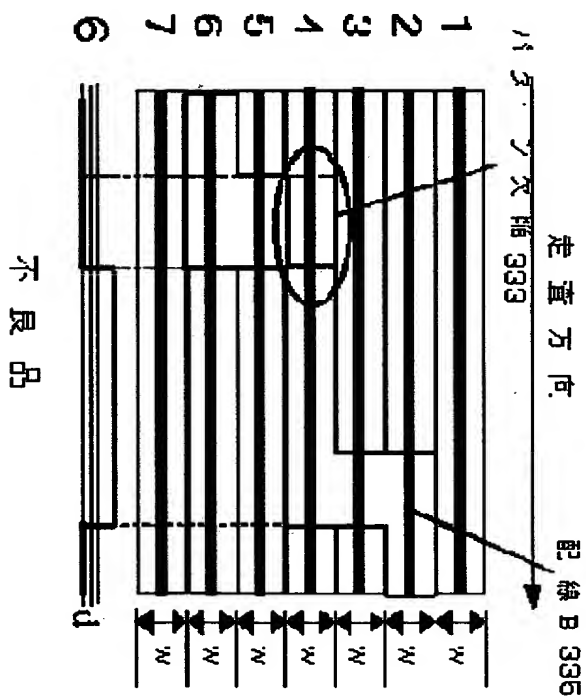
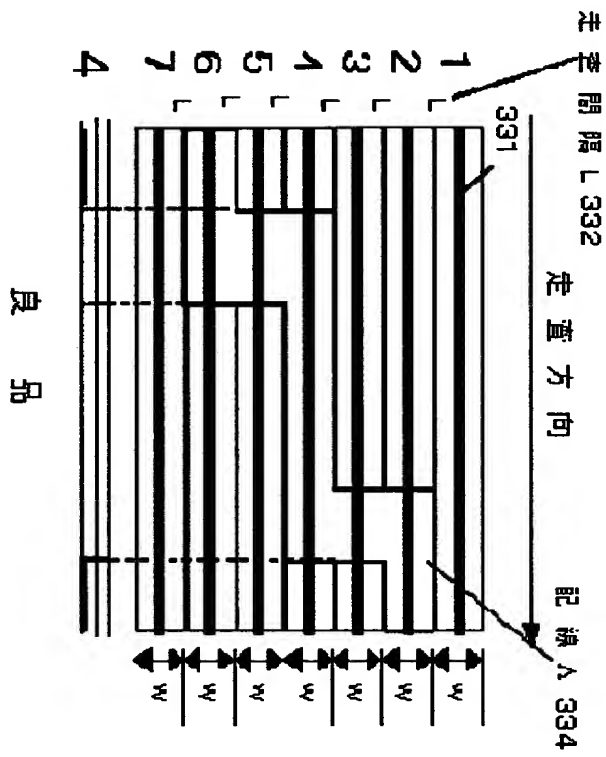
【図 2 6】



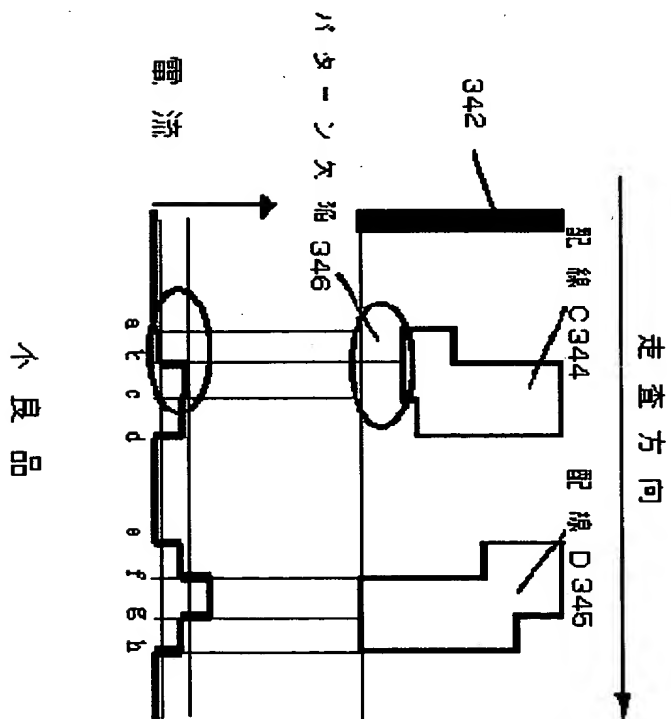
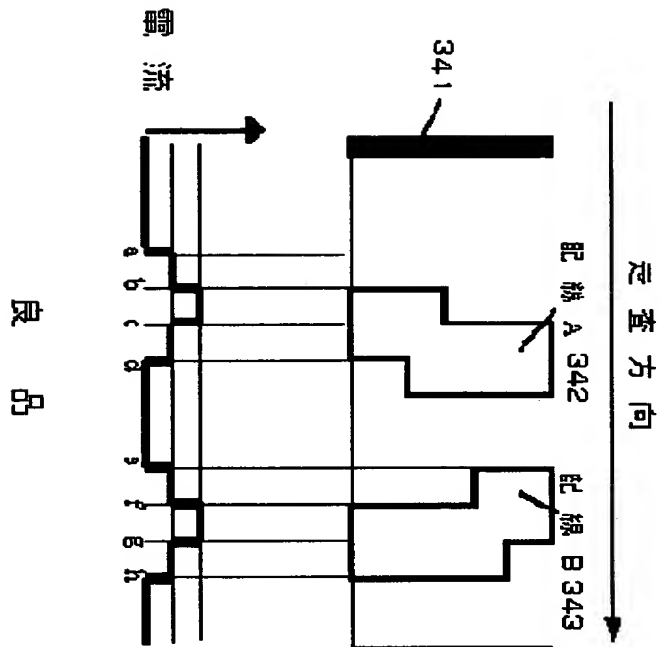
【図 2 7】



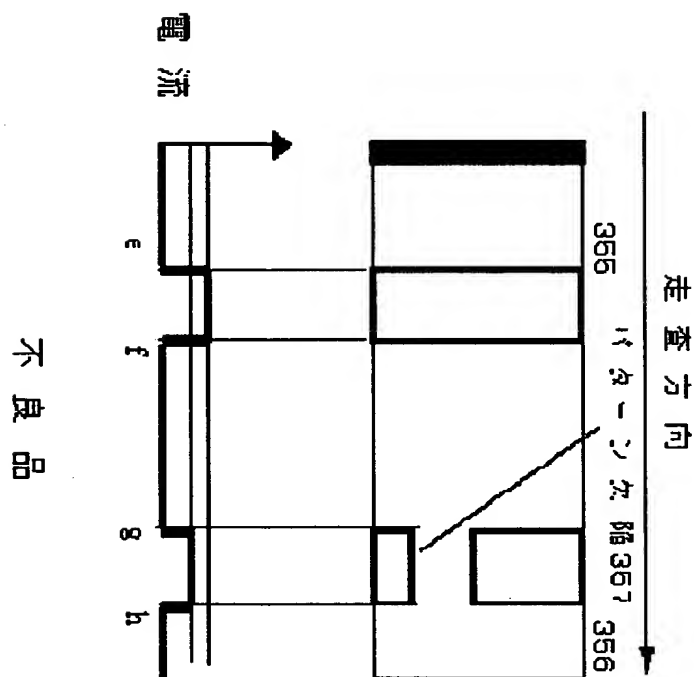
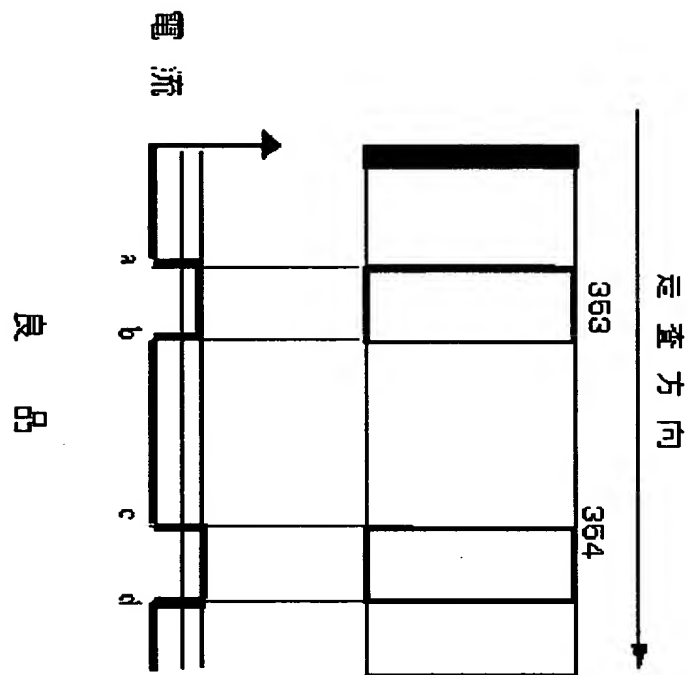
【図 2 8】



【図 2 9】

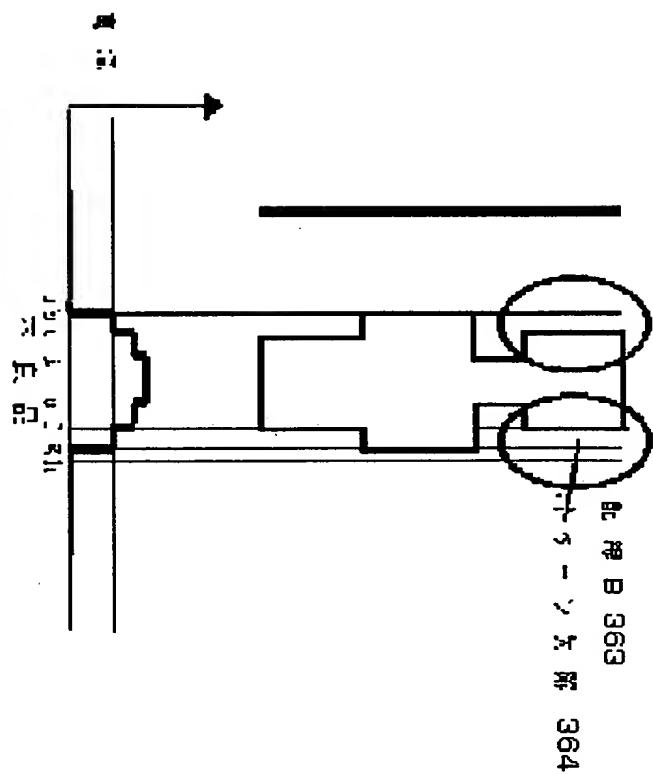
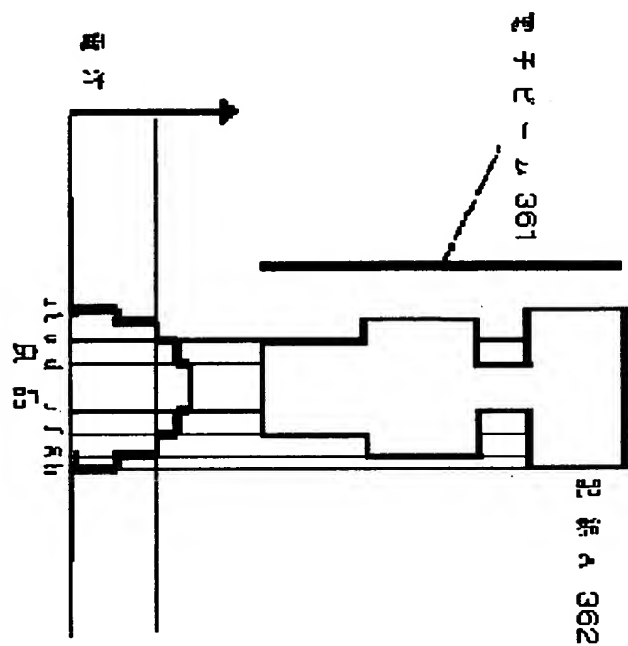


【図 3 0】

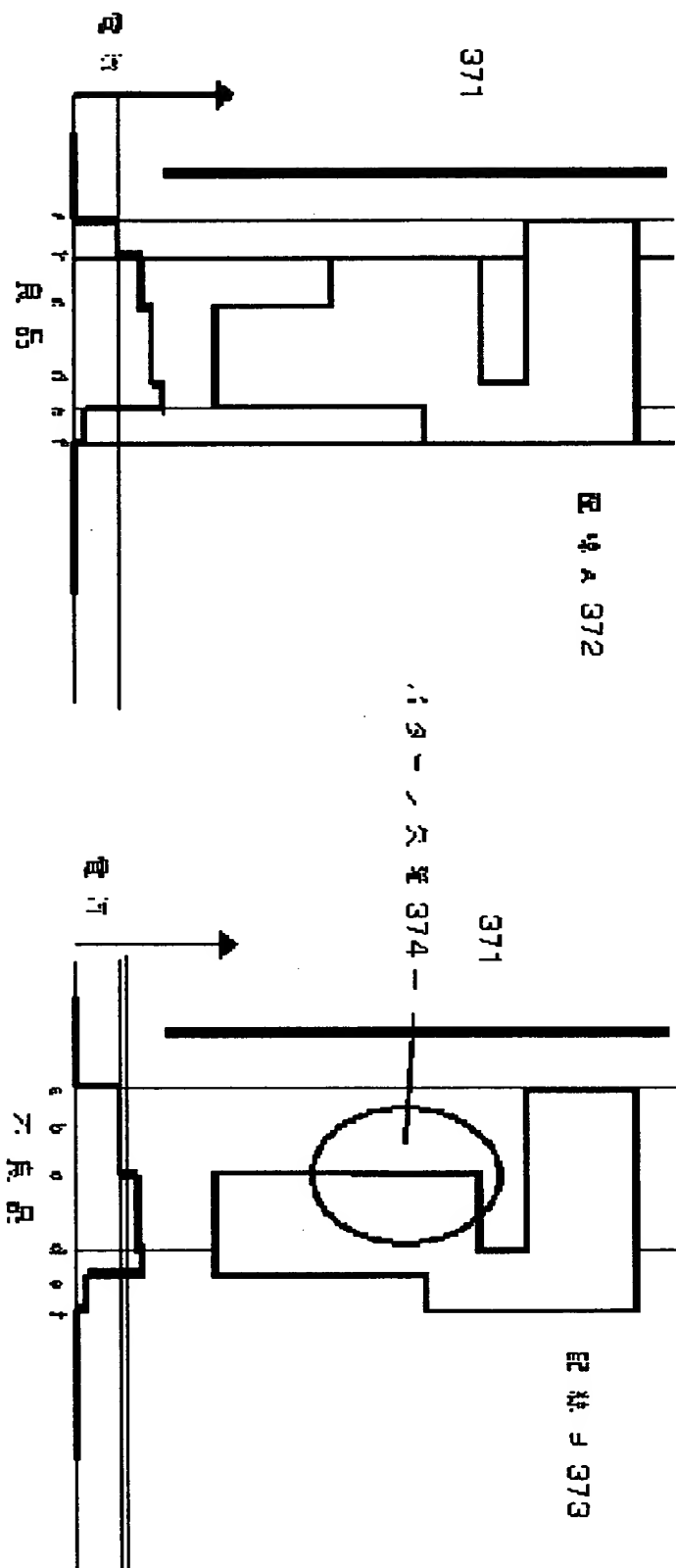




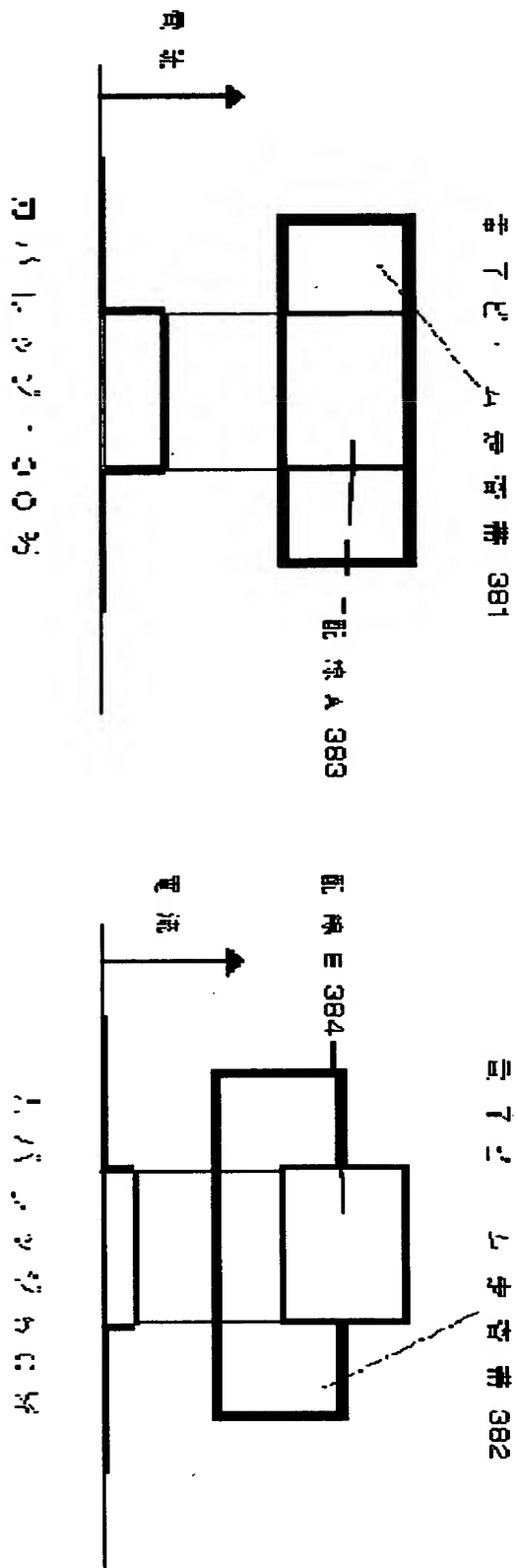
【図 31】



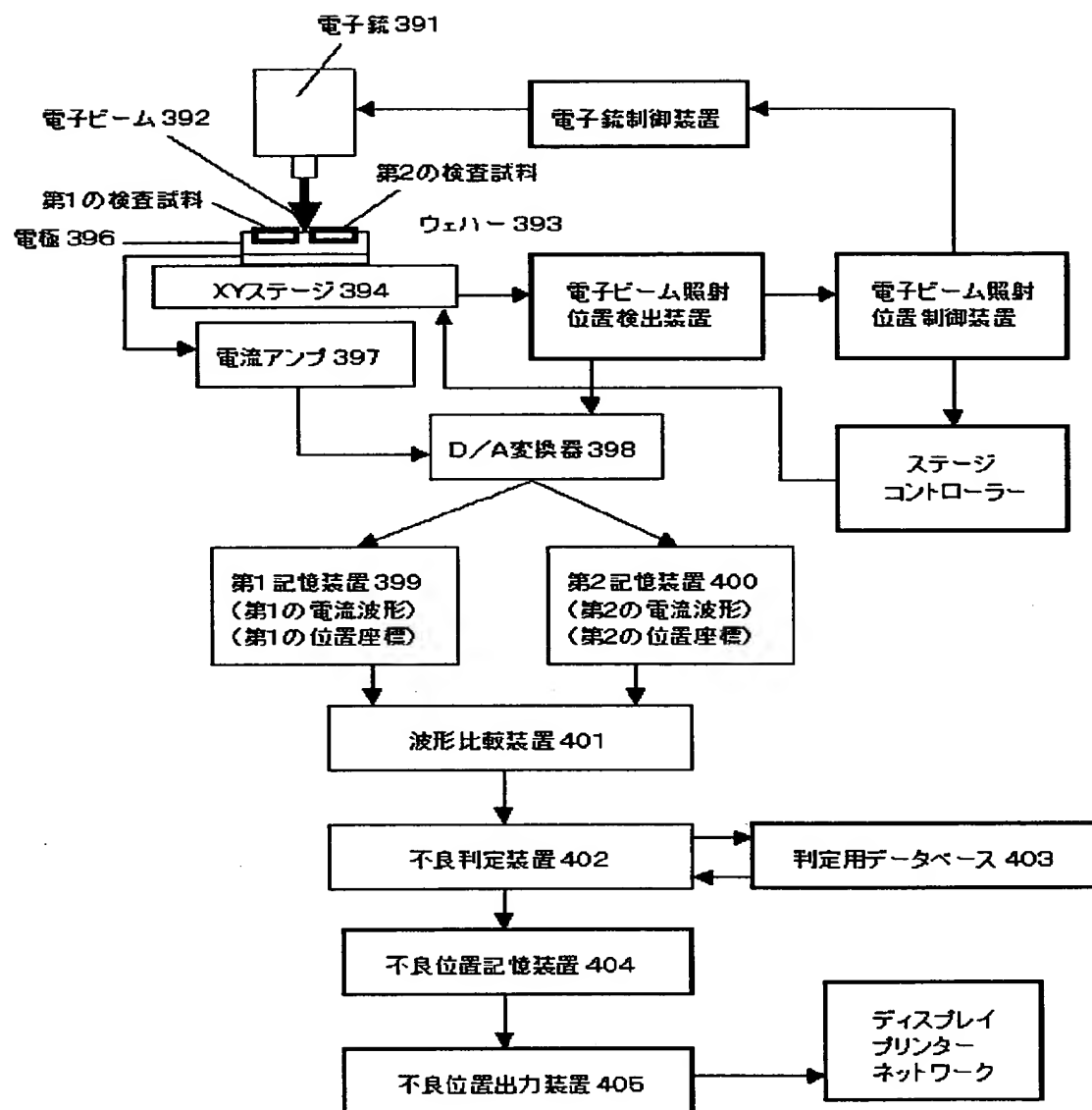
【図 3 2】



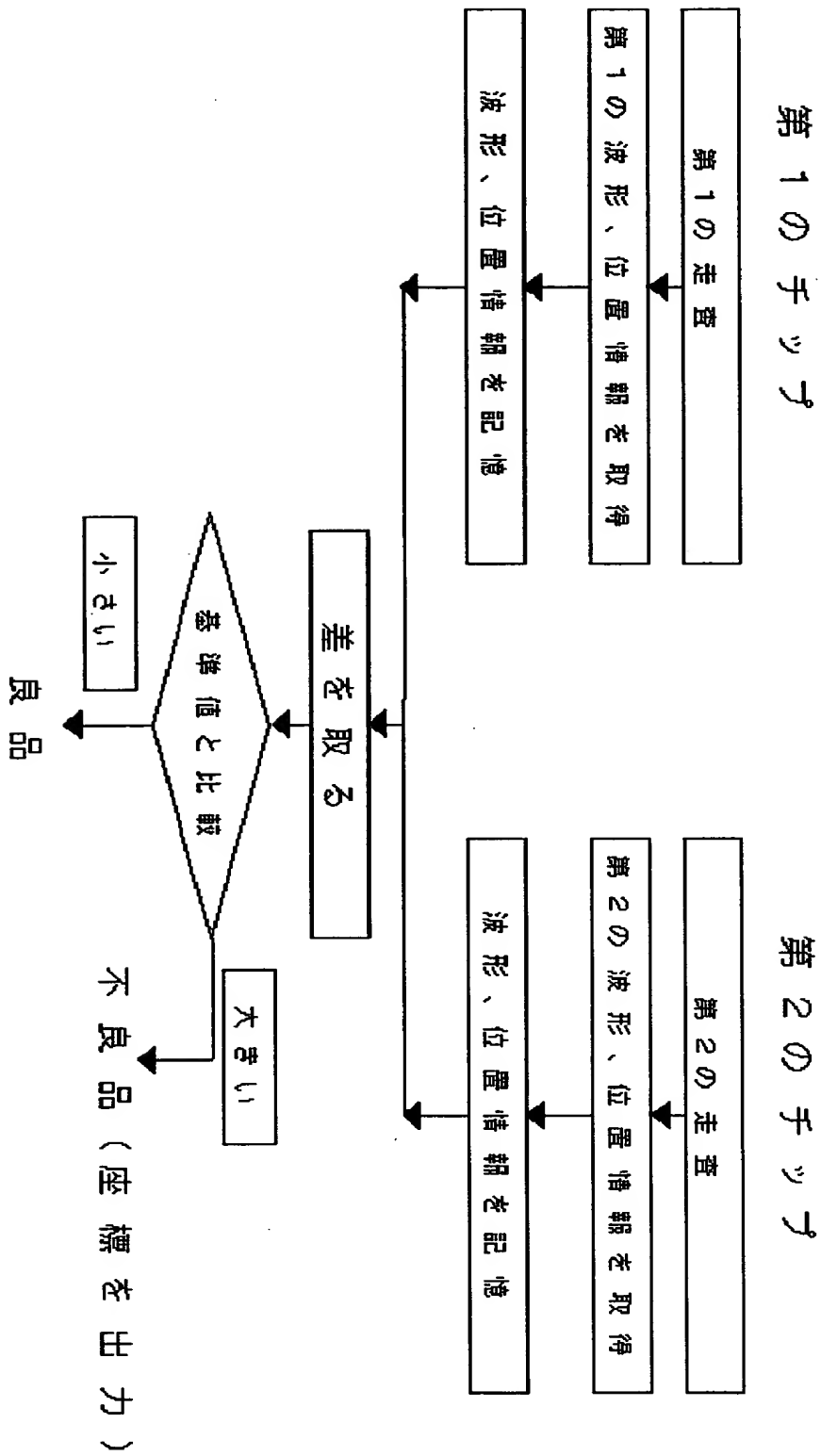
【図 33】



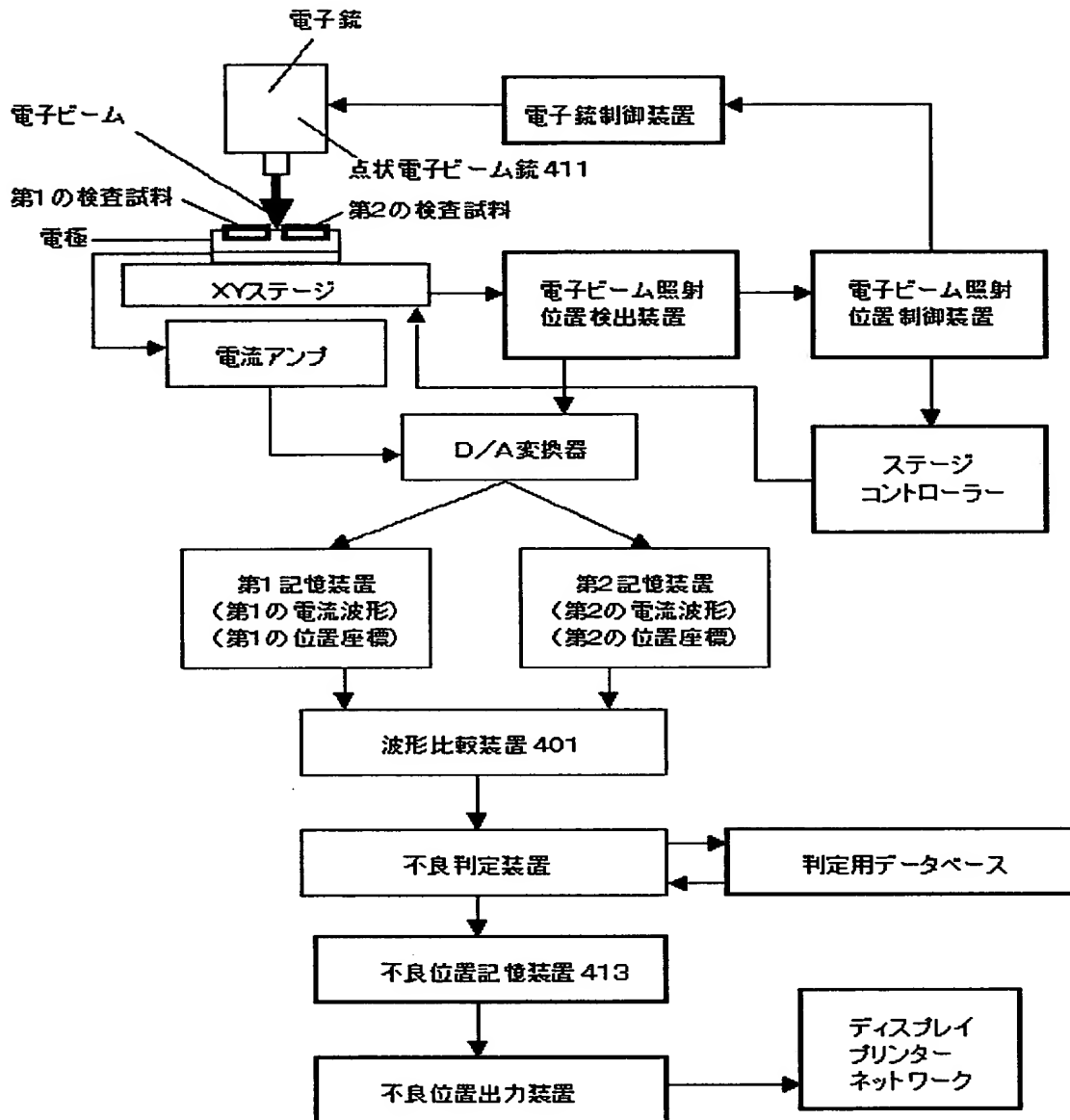
【図 3 4】



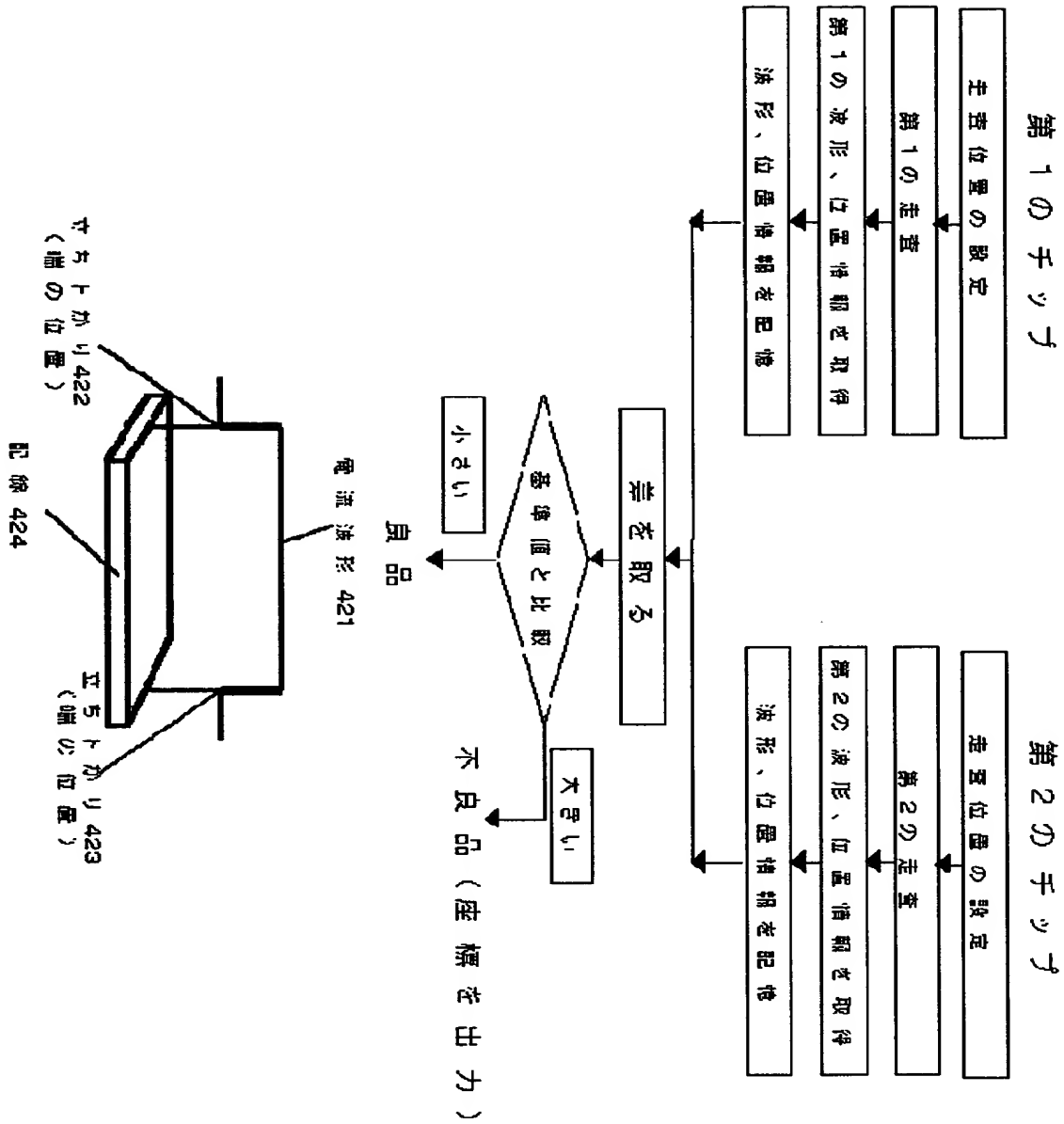
【図 3 5】



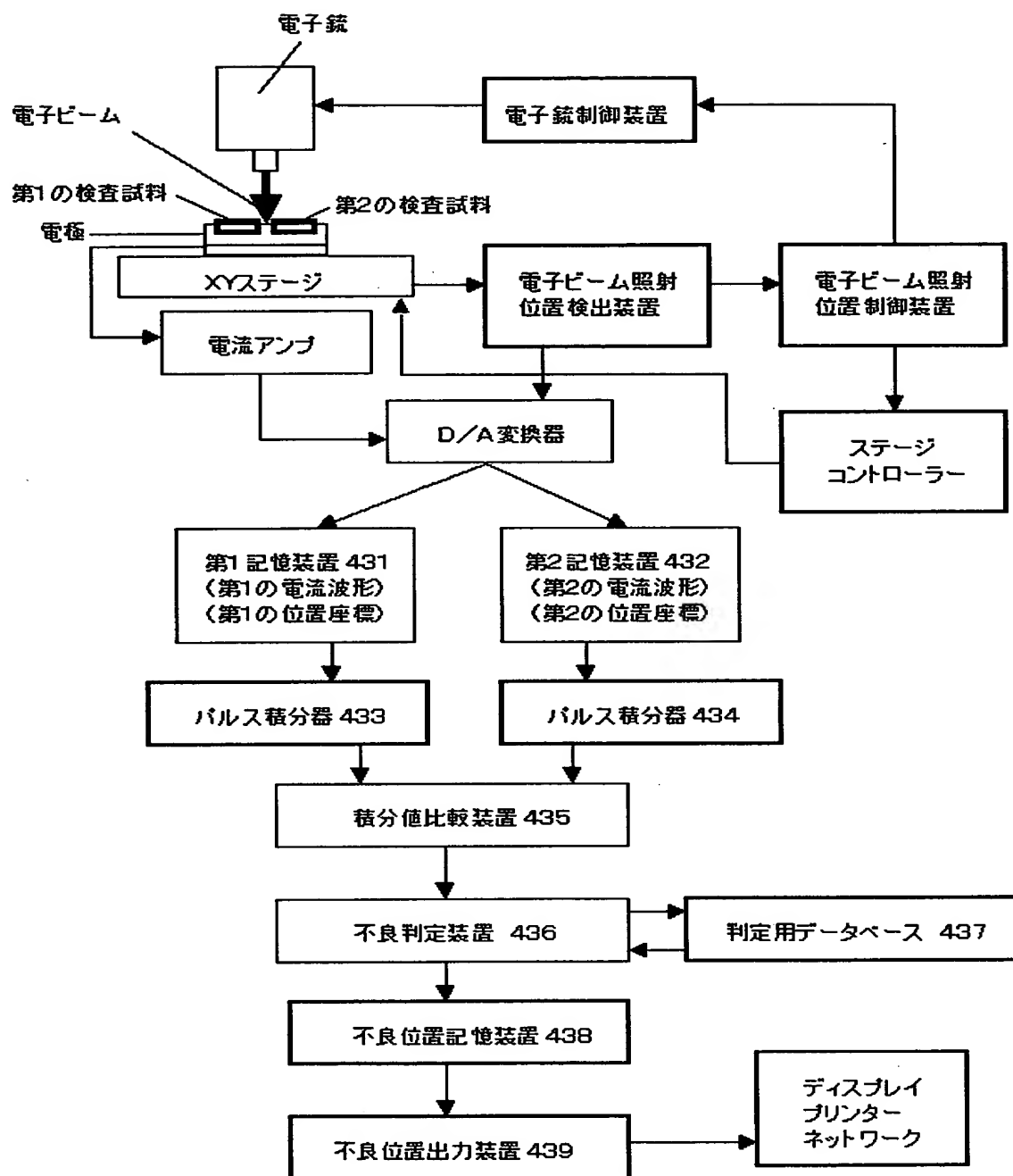
【図 3 6】



【図 3 7】

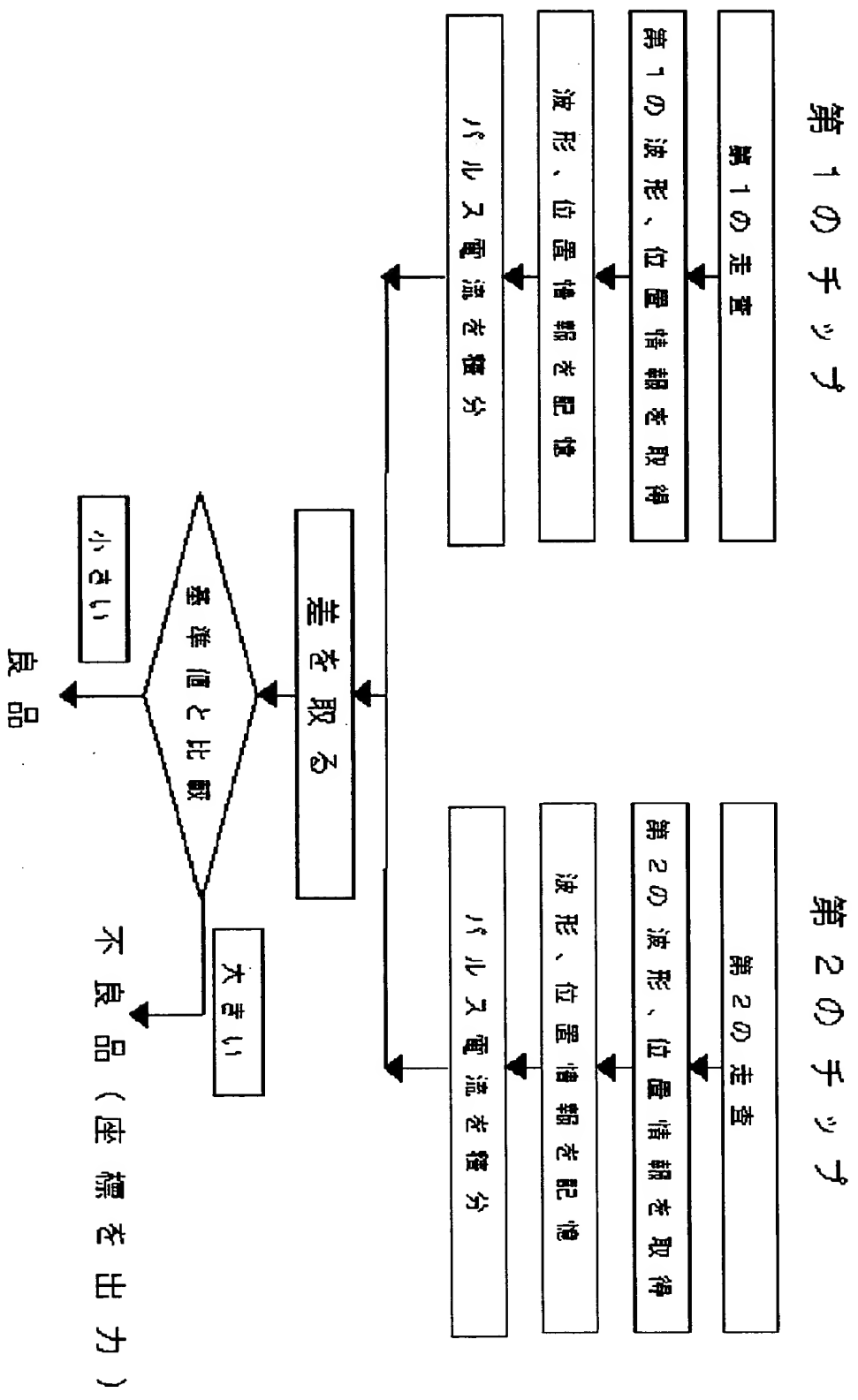


【図 38】

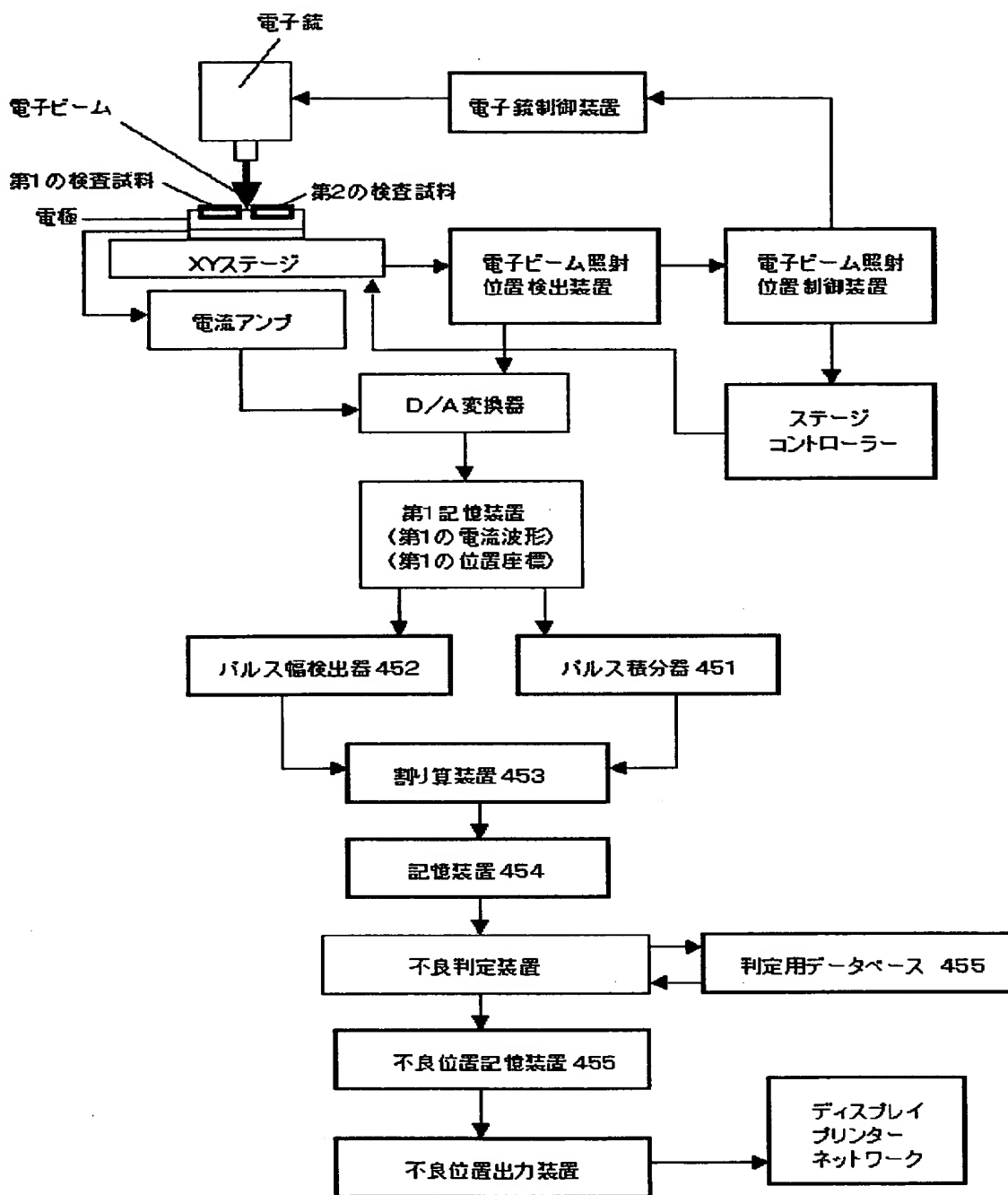




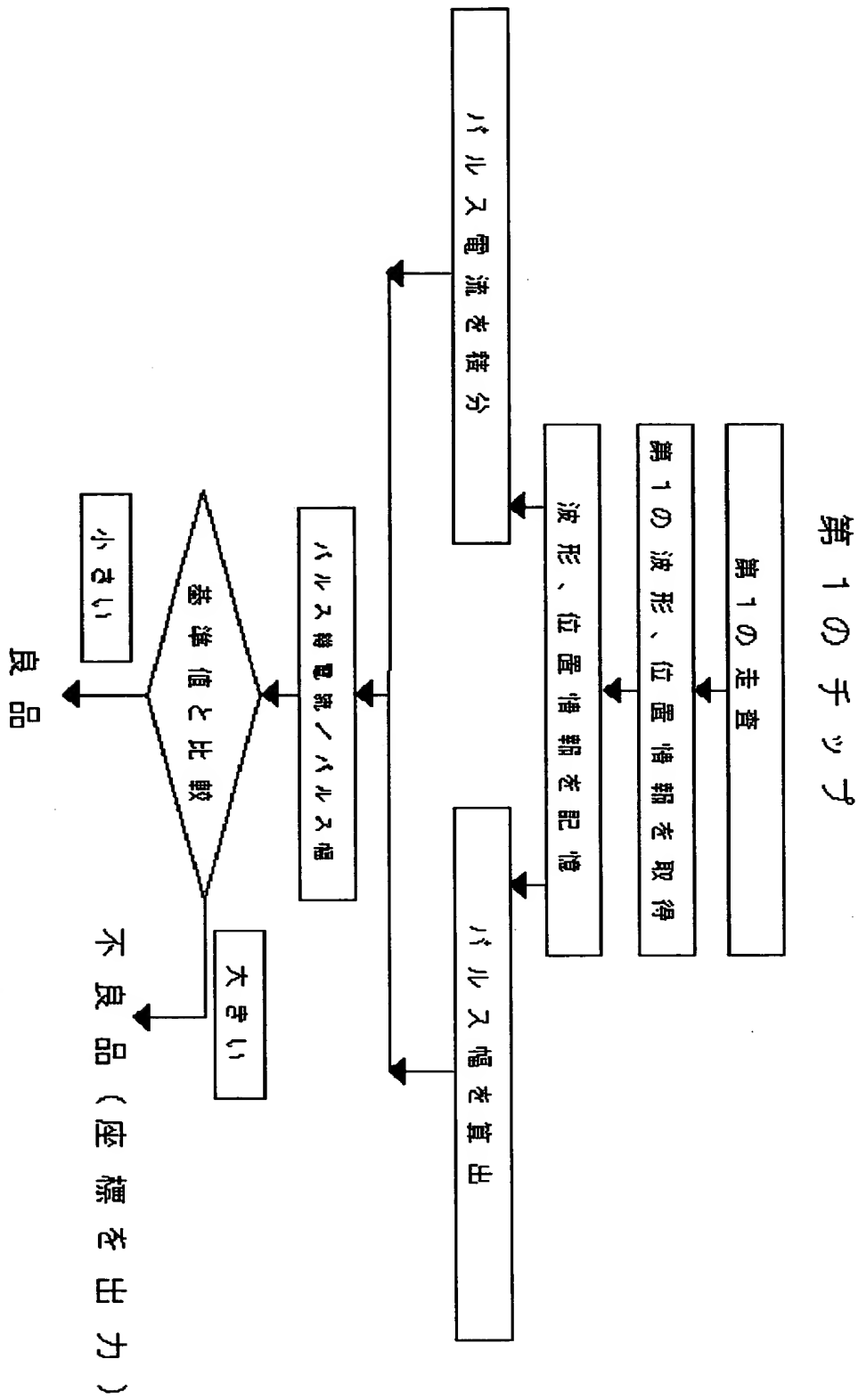
【図 3 9】



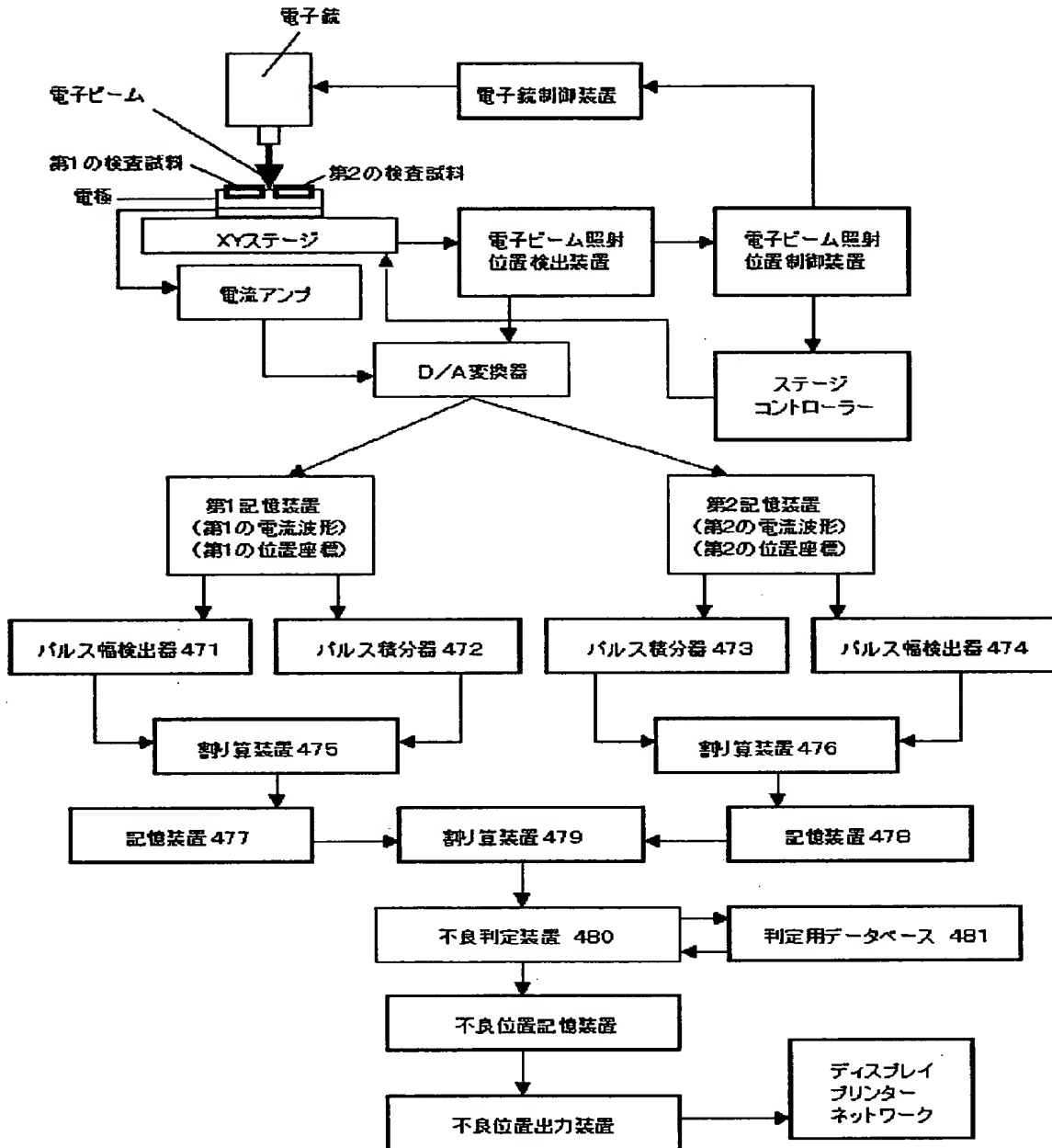
【図 4 0】



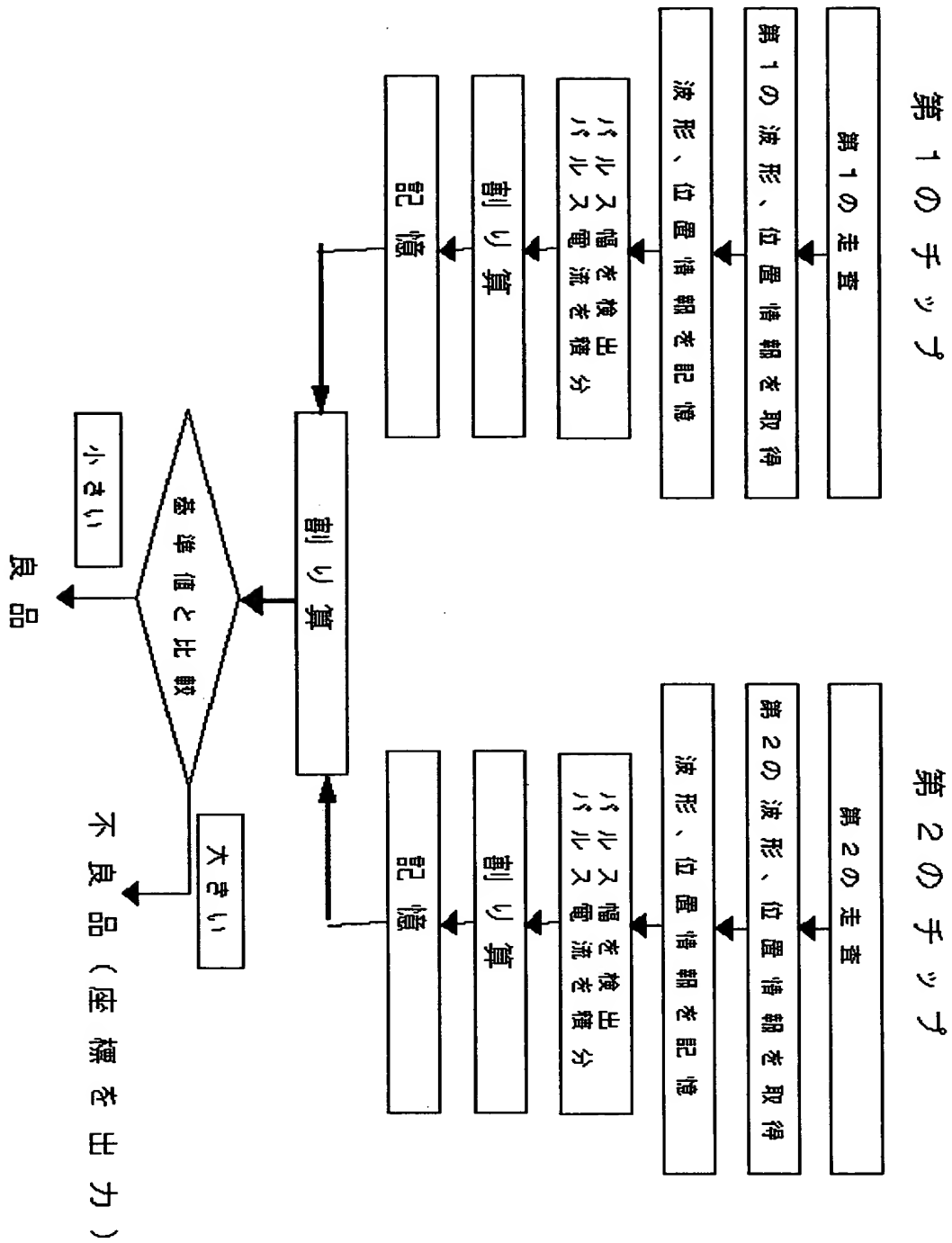
【図 4 1】



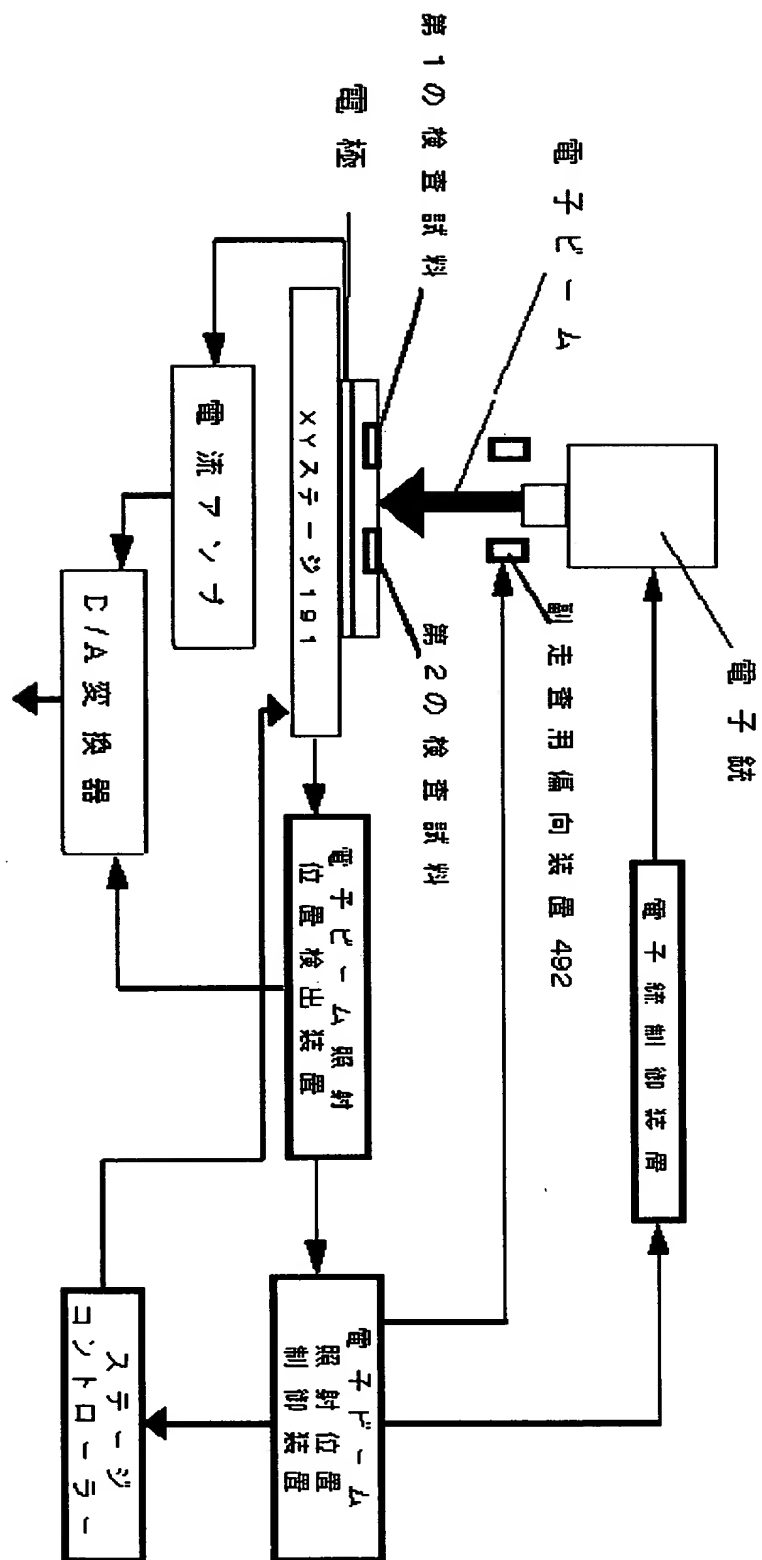
【図 4 2】



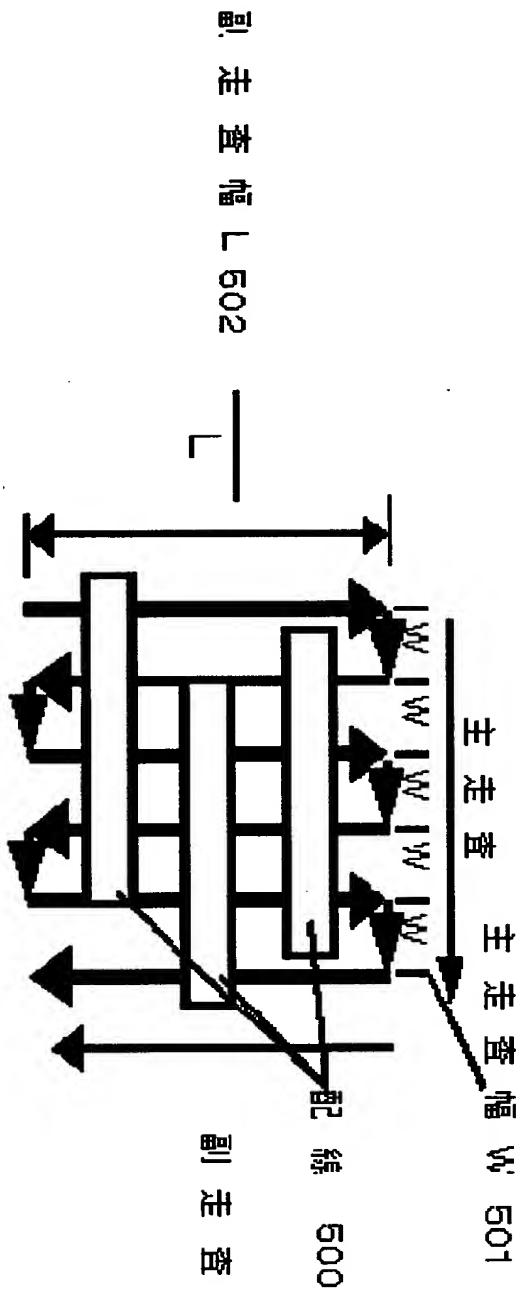
【図 4 3】



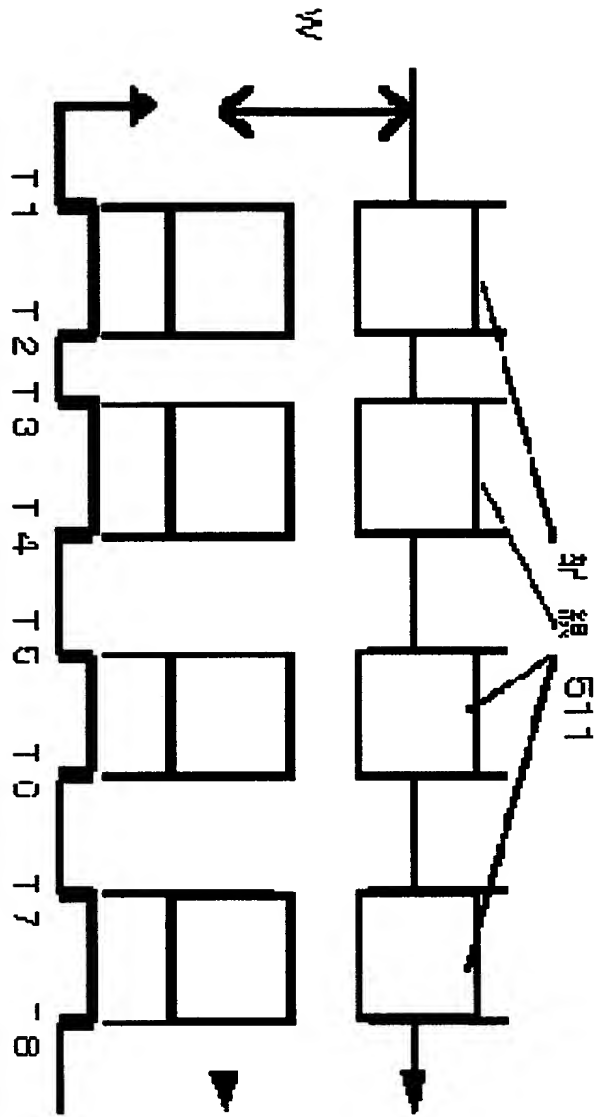
【图 4-4】



【図 4 5】

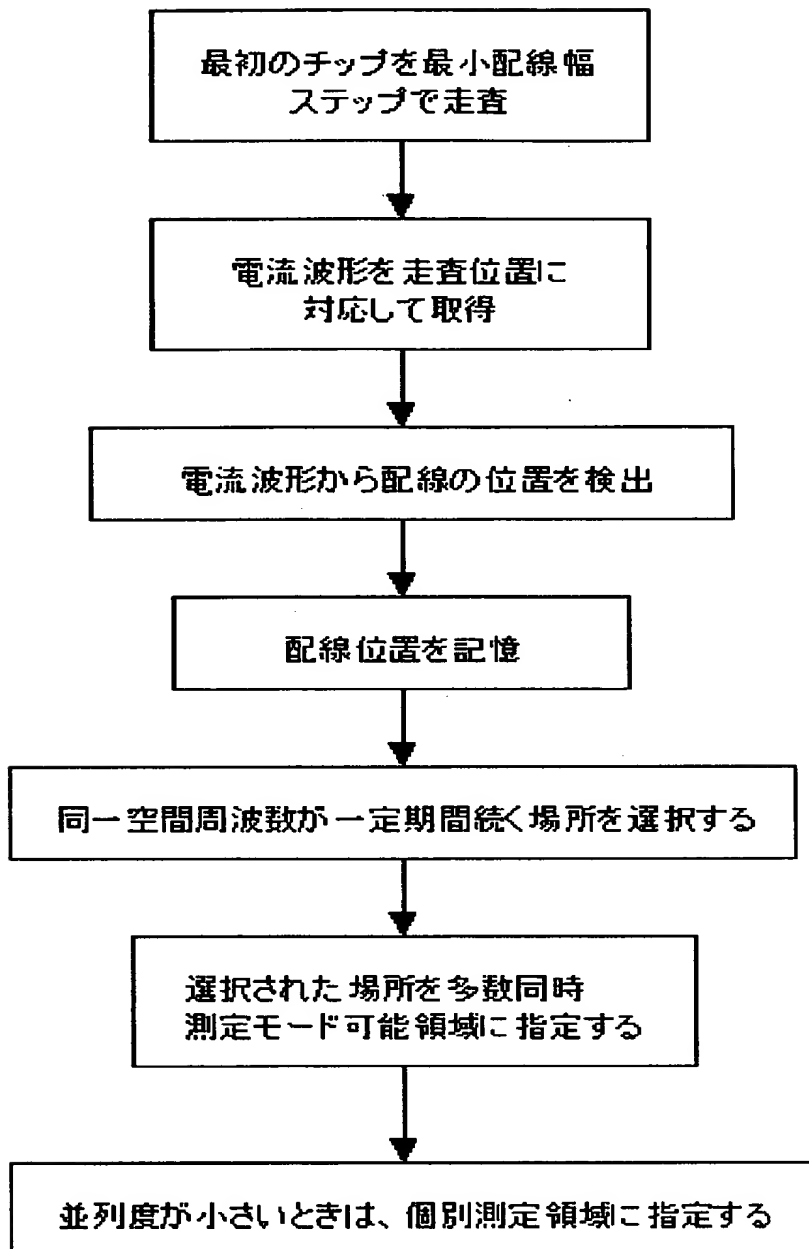


【図 4 6】

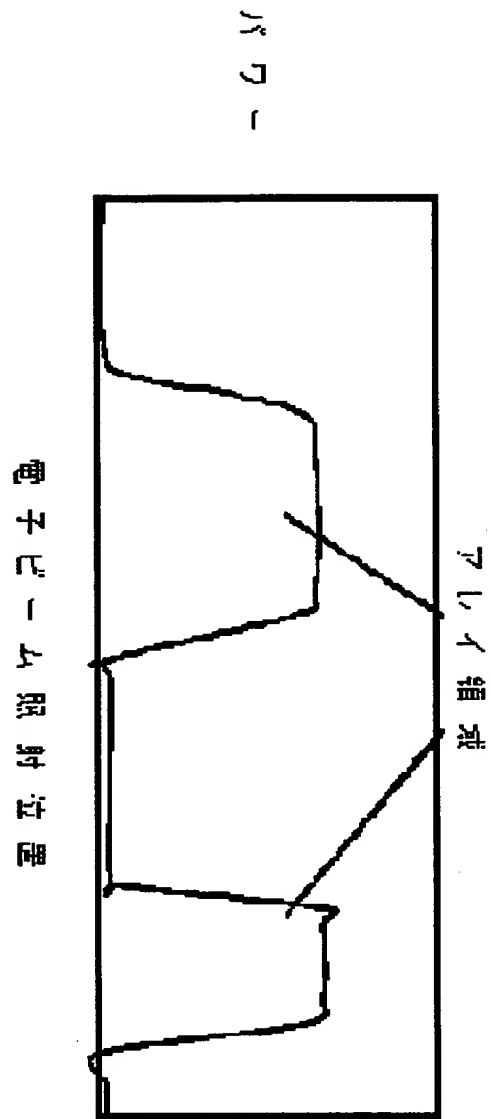




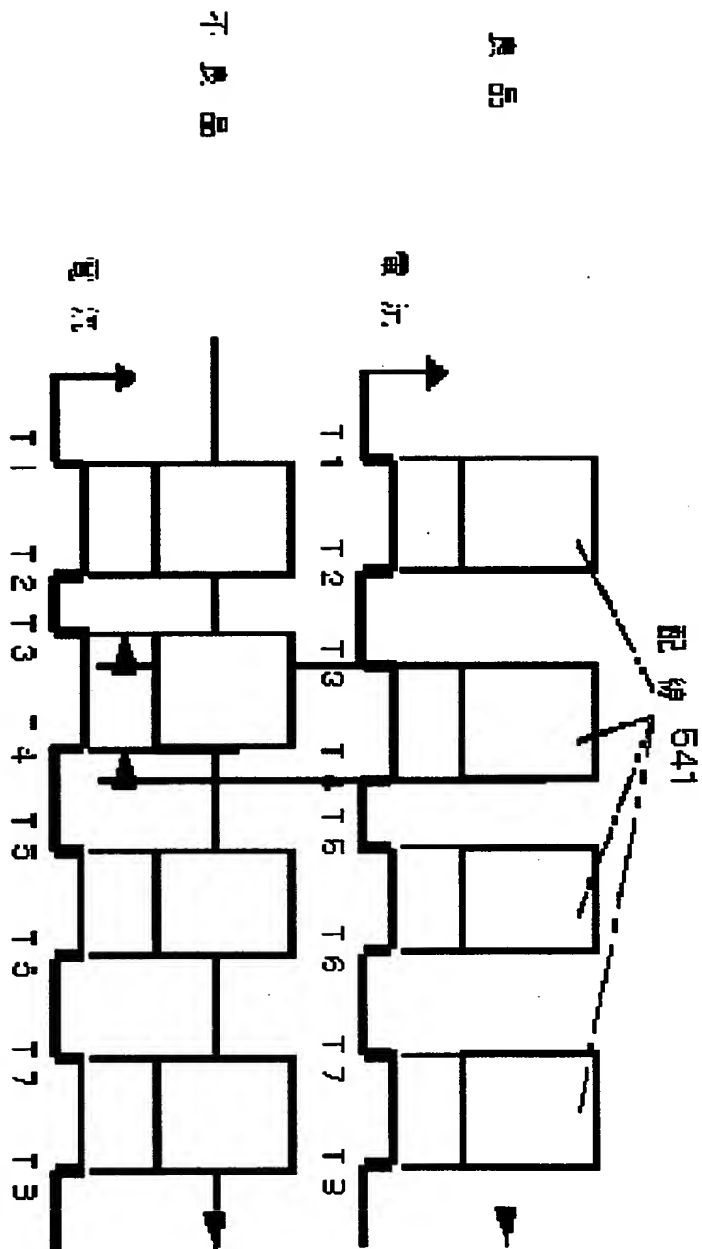
【図 4 7】



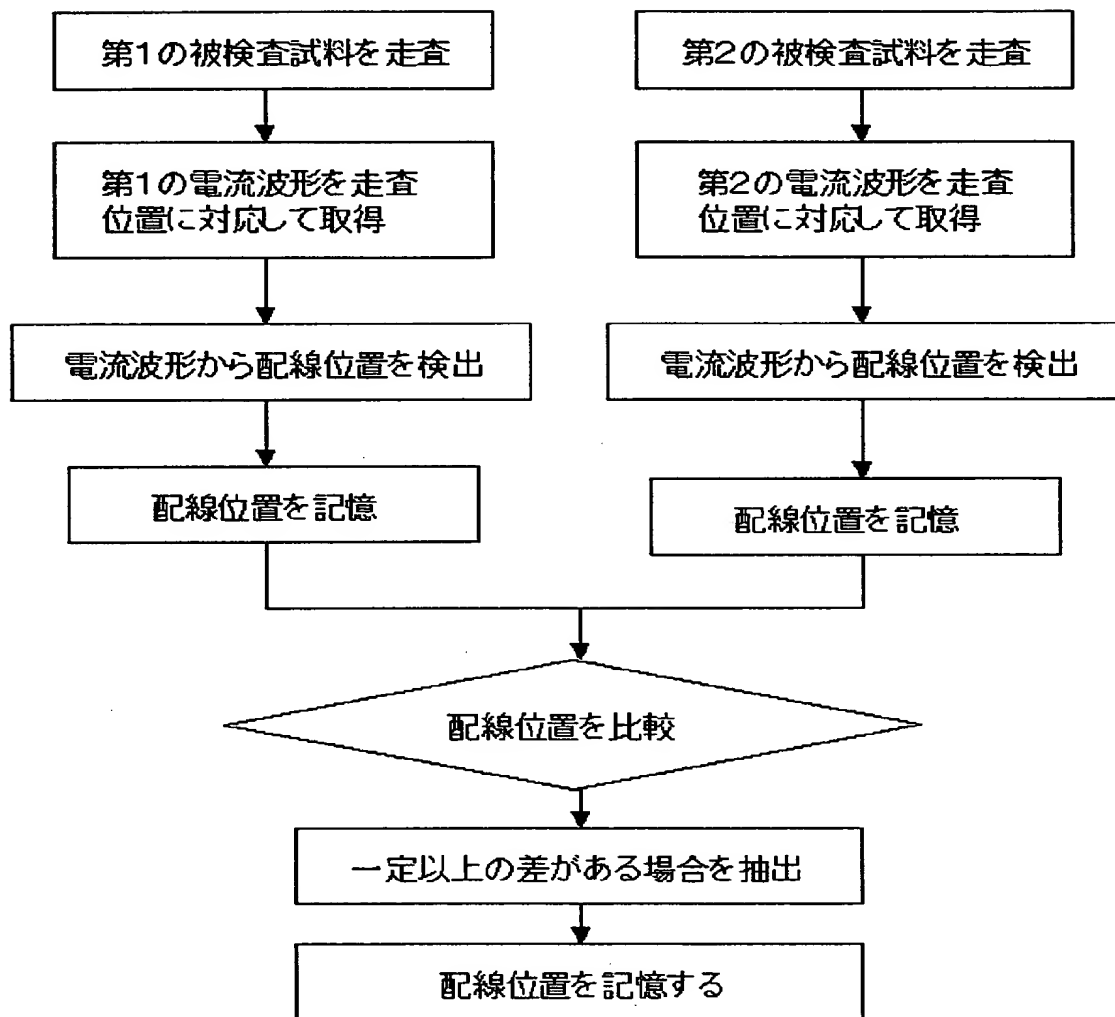
【図 48】



【図 4 9】



【図 5 0】



【書類名】 要約書

【目的】 コンタクトホール良否を検査する方法を提供する。

【構成】 電子ビームを放出する電子銃と電子銃から放出された電子ビームを平行に

するためのコンデンサレンズを備え、かつ、試料に当る電子ビームのスポットサイズを制限する為にコンデンサレンズと試料の間に電子ビームに開口部が当るように直角に挿入されたアパーチャーを有し、かつ試料を平行あるいは回転移動する為のステージを有し、試料に接触あるいは隣接して配置される電極を有し、電極に集められた電子が生じる電流を測定する電流計を有する事を特徴とする半導体デバイス検査装置。

【効果】 本発明で開示した長方形形状の電子ビームを用いた距離測定方法を用いれば、容易にコンタクトホール底の径を高精度測定できる。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第315320号
受付番号	59901084304
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成11年11月 9日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成11年11月 5日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社